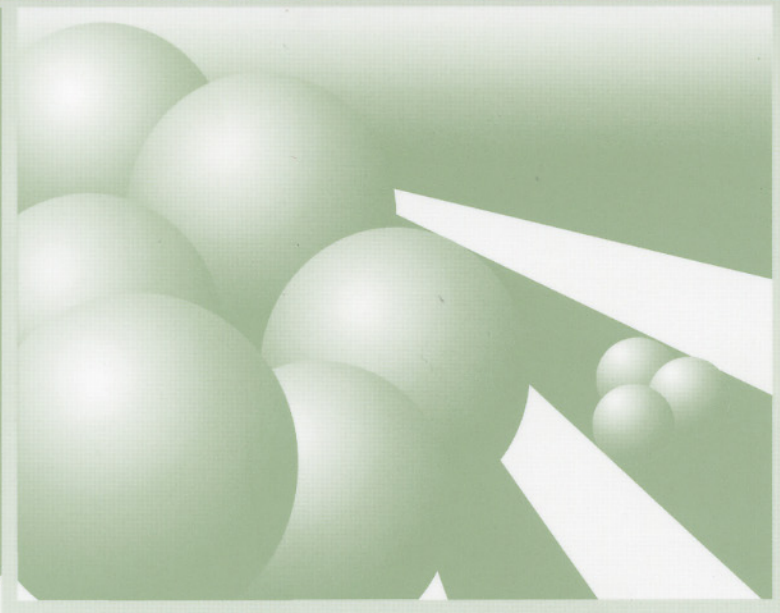


Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales



FRANCISCO
BAUTISTA ZUÑIGA
Editor General

HUGO
DELFIN GONZÁLEZ
Editor Asociado

JOSÉ LUIS
PALACIO PRIETO
Editor Asociado

MARÍA DEL CARMEN
DELGADO CARRANZA
Asistencia técnica



TÉCNICAS DE MUESTREO PARA MANEJADORES
DE RECURSOS NATURALES



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Dirección General de Estudios de Posgrado
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE YUCATÁN
CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA

TÉCNICAS DE MUESTREO PARA MANEJADORES DE RECURSOS NATURALES

FRANCISCO BAUTISTA ZÚÑIGA
Editor General

HUGO DELFÍN GONZÁLEZ
Editor Asociado

JOSÉ LUIS PALACIO PRIETO
Editor Asociado

MARÍA DEL CARMEN DELGADO CARRANZA
Asistencia Técnica



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE YUCATÁN
CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA

2004

Primera edición: 2004

© D.R. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Ciudad Universitaria, C. P. 04510, México, D. F.

© D.R. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE YUCATÁN
Calle 60 núm. 491 por 57, Centro, C. P. 97000, Mérida Yucatán.

© D.R. CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
Av. Insurgentes Sur 1582, Col. Crédito Constructor, C. P. 03940, México D. F.

© D.R. INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA
Periférico 5000, col. Insurgentes Cuicuilco, C. P. 04530, México D. F.

Prohibida su reproducción total o parcial por cualquier medio, sin autorización escrita de su legítimo titular de derechos.

ISBN 970-32-1778-8

Impreso y hecho en México

DIRECTORIO DE PARTICIPANTES

DR. JUAN JIMÉNEZ OSORNIO

Departamento de Manejo y Conservación de Recursos Naturales Tropicales, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Yucatán. km 15.5 carretera Mérida-Xmatkuil. Mérida, Yucatán, México.

DR. JORGE NAVARRO ALBERTO

Departamento de Ecología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Yucatán. km 15.5 carretera Mérida-Xmatkuil. Mérida, Yucatán, México.

DR. VÍCTOR LUNA PABELLO

Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química, UNAM.

ING. ALEJANDRO ALVA MARTÍNEZ

Pista Olímpica de Remo y Canotaje Virgilio Uribe. Periférico Sur S/N, Cuemanco. afam@yahoo.com

ING. ARTURO BERNAL BECERRA

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco

DR. ROGER ARMANDO ORELLANA LANZA

Departamento de Recursos Naturales. Centro de Investigaciones Científicas de Yucatán.

DRA. MARÍA ENGRACIA HERNÁNDEZ CERDA

Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México.

DRA. SILKE CRAM HEYDRICH

Instituto de Geografía, universidad Nacional Autónoma de México.

M EN C. IRENE SOMMER CERVANTES

Instituto de Geografía, universidad Nacional Autónoma de México.

DR. FRANCISCO BAUTISTA ZÚÑIGA

Departamento de Manejo y Conservación de Recursos Naturales Tropicales, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Yucatán. km 15.5 carretera Mérida-Xmatkuil. Mérida, Yucatán, México. Bzuniga(tunku.uady.mx)

DR. RAFAEL VILLEGAS

Instituto Nacional de Investigaciones en Caña de Azúcar, Cuba.

Q. RAFAEL MAS

Instituto Nacional de Investigaciones en Caña de Azúcar, Cuba.

I. FERNÁNDEZ DENISY

Instituto Nacional de Investigaciones en Caña de Azúcar, Cuba.

DR. F. JAVIER ÁLVAREZ SÁNCHEZ

Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias, UNAM.

DR. SALVADOR FLORES GUIDO

Departamento de Botánica, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Yucatán. km 15.5 carretera Mérida-Xmatkuil. Mérida, Yucatán, México.

DR. HUGO DELFÍN GONZÁLEZ

Departamento de Zoología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Yucatán. km 15.5 carretera Mérida-Xmatkuil. Mérida, Yucatán, Méx.

M EN C. PABLO C. MANRIQUE SAIDE

Departamento de Zoología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Yucatán. km 15.5 carretera Mérida-Xmatkuil. Mérida, Yucatán, México.

M EN C. CELIA SÉLEM SALAS

Departamento de Zoología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Yucatán. Km 15.5 carretera Mérida-Xmatkuil. Mérida, Yucatán, México.

M EN C. SILVIA HERNÁNDEZ BETANCOURT

Departamento de Zoología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Yucatán. Km 15.5 carretera Mérida-Xmatkuil. Mérida, Yucatán, México.

M EN C. JAVIER SOSA ESCALANTE

Departamento de Zoología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Yucatán. Km 15.5 carretera Mérida-Xmatkuil. Mérida, Yucatán, México.

DRA. EDNA NARANJO GARCÍA

Departamento de Zoología, Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. Apartado Postal 70-153 04510 México D.F.

DRA. CATALINA GÓMEZ ESPINOZA

Departamento de Zoología, Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. Apartado Postal 70-153 04510 México D.F.

M EN C. JOSÉ ALBERTO RAMOS ZAPATA

Departamento de Biología Experimental, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Yucatán. Km 15.5 carretera Mérida-Xmatkuil. Mérida, Yucatán, México.

DR. BERNAD TRUMPHE

M EN C. ARTURO CAAMAL MALDONADO

Departamento de Manejo y Conservación de Recursos Naturales Tropicales, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Yucatán. km 15.5 carretera Mérida-Xmatkuil. Mérida, Yucatán, México.

DR. JOSÉ C. SEGURA CORREA

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Yucatán. km 15.5 carretera Mérida-Xmatkuil. Mérida, Yucatán, México.

DR. GERMÁN A. ZÁRATE HOYOS

Universidad de California, Campus *Riverside*. EUA.

DR. JORGE SANTOS FLORES

Departamento de sistemas. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Yucatán. km 15.5 carretera Mérida-Xmatkuil. Mérida, Yucatán, México.

DR. G. MOLINA C.

DR. JOSÉ LUIS PALACIO PRIETO

Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México

BIÓL. ARMANDO PERALTA HIGUERA

Instituto de Geografía. UNAM.

M EN C. JOSÉ ANTONIO GONZÁLEZ ITURBE AHUMADA

Departamento de Recursos Naturales. Centro de Investigación Científica de Yucatán.
jagia@cicy.cicy.mx

BIÓL. CELENE ESPADAS MANRRIQUE

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	13
I DISEÑO Y ANÁLISIS DEL MUESTREO	17
1 Introducción al diseño y análisis del muestreo de poblaciones finitas	19
II EL AMBIENTE	71
2 Suelos	73
3 Monolitos de suelo	99
4 Cuerpos de agua superficiales	117
5 Clima	145
III LOS ORGANISMOS	183
6 Microorganismos del suelo	185
7 Moluscos	211
8 Insectos terrestres	235
9 Aves y mamíferos	269
10 Flora y vegetación	303
IV LOS AGROECOSISTEMAS	329
11 Rendimiento de maíz en milpas de campesinos	331
12 Arvenses	343
13 Animales de traspatio	363
14 Diagnóstico rural participativo	399
15 Matriz de contabilidad social	421

V	SENSORES REMOTOS Y MANEJO DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	453
16	Introducción a la percepción remota	455
17	Video-teledetección y fotografía digital	483
18	Introducción a los sistemas de información geográfica	495

INTRODUCCIÓN

Francisco Bautista-Zúñiga* y Juan Jiménez-Osornio*

Centro de Investigación Científica de Yucatán uhkin@cicy.cicy.mx

A nivel mundial, pero de manera más intensa en la cultura occidental, la mayoría de las formas de producción, fueron diseñadas para operar en condiciones de abundancia de recursos naturales (suelo, agua y aire). Esto ha ocasionado que en las últimas décadas, la explotación de los recursos naturales se ha hecho de manera tal, que no tiene precedente.

Este tipo de desarrollo actual, en el que se presenta una sobre-explotación del “capital natural” con la finalidad de obtener la máxima ganancia en el corto plazo, es el causante de los problemas ambientales globales (efecto invernadero, destrucción de la capa de ozono, contaminación atmosférica y del agua, entre otros) y en buena proporción de los problemas locales (deforestación, erosión, pérdida de la biodiversidad, contaminación, etc). A su vez, estos problemas ambientales limitan el mismo tipo de desarrollo.

La explotación-extracción desmedida de los recursos naturales ocasiona problemas de deterioro, renovación y agotamiento de los recursos naturales (suelo, agua, aire, biodiversidad, etc.) y es la causa del incremento de problemas económicos y sociales de grandes consecuencias, como la distribución desigual del ingreso.

Resulta urgente la necesidad de disminuir o eliminar los problemas de manejo de los recursos naturales y/o desarrollar nuevas opciones de solución o elaborar otras formas de manejo de los recursos naturales. Del mismo modo, se requiere disminuir el deterioro ambiental producto de la contaminación por desechos de

* Departamento de “Manejo y Conservación de Recursos Naturales Tropicales”, FMVZ Universidad Autónoma de Yucatán

origen antrópico, mediante acciones correctivas y de prevención en el mejoramiento de los procesos productivos tendiendo hacia el diseño de tecnología limpia o de bajo impacto. Además se requiere información confiable de los ámbitos ambiental, biológico, ecológico, económico y social, que pueda ser utilizada en el diagnóstico, diseño de indicadores de la calidad del ambiente, elaboración de inventarios de recursos, etc.

Ante este panorama, se han realizado diversas reuniones de carácter internacional en las que se ha discutido al respecto y se han diseñado estrategias para afrontar los problemas arriba mencionados (Río, Colombia, México, URSS, etc.). Por ejemplo, en la carta de Bogotá se mencionan una conclusión y una recomendación, ambas relacionadas con la educación universitaria:

1. El estado actual del pensamiento ambiental no permite dar soluciones inmediatas a esos problemas. La incorporación de la dimensión ambiental al conocimiento requiere de grandes esfuerzos teóricos y metodológicos para la conducción de investigaciones concretas y participativas en los problemas prioritarios del medio social, incluyendo la utilización racional del medio rural
2. La cuestión ambiental ha generado nuevas temáticas interdisciplinarias que obligan a realizar un mayor esfuerzo en aspectos de investigación, docencia y gestión en el manejo de los recursos naturales

Otra recomendación hecha a los gobiernos, relacionada con la formación de profesionales, radica en la urgente necesidad de formar profesionales capaces de integrar información de diversos ámbitos, como el natural, ecológico, social, económico y político, que sea capaz de diseñar, plantear, desarrollar e instrumentar opciones de solución a los problemas ambientales, considerando el impacto económico y social de sus medidas. Es decir, el fomento del trabajo transdisciplinario.

La búsqueda de opciones viables con enfoque de sustentabilidad de los recursos naturales de manera integral y transdisciplinaria, se dificulta por la enorme cantidad de información que se debe manejar para el diseño y ejecución de los nuevos planes de manejo de recursos naturales.

Esta dificultad se incrementa por la escasez de profesores formados con ese enfoque y la falta de libros en los que se incluyan tópicos prácticos y de generación de datos, ya que este conocimiento se adquiere con la práctica y los manuales de temas específicos resultan atractivos solo para los especialistas. Es por ello que se pensó en la elaboración de un libro sobre las técnicas de muestreo para la obtención de datos en esos ámbitos, que fuera escrito por profesionales con experiencia en cada una de las áreas, con la idea de que fuera un libro de consulta para los estudiantes preocupados

por los efectos del desarrollo (p.e. deterioro del ambiente, pobreza).

Por otro lado y a nivel de docencia, la formación integral de los alumnos también requiere su fortalecimiento en la práctica, siendo el libro de utilidad en ese sentido. Este volumen pretende ayudar a disminuir problemas prácticos en la generación de datos con carácter científico.

En este sentido, este volumen pretende contribuir a la formación de “manejadores de recursos naturales”, así como a estudiantes de biología, agronomía, ingeniería civil y otras áreas relacionadas con el manejo de recursos naturales y el ambiente, mediante la exposición de los principios estadísticos del diseño de las técnicas de muestreo, así como las particularidades en el estudio del ambiente (clima, suelo y agua); en las técnicas de muestreo de plantas, tanto a nivel de flora como de análisis de la vegetación; en las técnicas de muestreo y preparación de invertebrados como los oligoquetos, moluscos e insectos; en observación y registro de la presencia de vertebrados, del tipo de las aves y mamíferos; en agroecosistemas (producción en cultivos anuales, arvenses, animales de traspatio); en microorganismos de interés económico como las micorrizas y las bacterias fijadoras de nitrógeno; en aspectos socioeconómicos; y en la obtención de información por sensores remotos y el manejo de información en sistemas de información geográfica.

Así este libro está estructurado en cinco ejes temáticos que consideramos básicos en la formación de los manejadores de recursos naturales, a saber: I. Diseño y análisis del muestreo; II. El ambiente; III. Los organismos; IV. Los agrosistemas y V. Sensores remotos y manejo de información geográfica. En la presentación de cada eje temático incluimos una breve descripción de los capítulos considerados y la importancia que reviste el estudio de cada uno de ellos, siempre en el contexto de ser una herramienta práctica y sin pretender agotar el marco conceptual que le da sustento. En todos los capítulos se justifica la importancia del muestreo en el tema de referencia, para qué tomar la muestra, dónde tomar la muestra, cuándo tomar la muestra y cómo tomar la muestra.

Esperamos que esta breve introducción despierte el interés para adentrarse en el estudio de los recursos naturales, utilizando las herramientas provistas por los autores que escribieron el presente texto.

I. DISEÑO Y ANÁLISIS DEL MUESTREO

Una vez que el problema, los objetivos y las hipótesis de una investigación han sido planteados, la etapa siguiente que debe ser atendida es el diseño del muestreo. La parte estadística del muestreo es indispensable en la obtención de datos, es la piedra angular de la investigación. Una muestra que no tenga representación de la población de estudio imposibilita la obtención de datos con-fiables, aún cuando en las etapas posteriores se utilicen las técnica de análisis más sofisticadas.

En este apartado se dan las bases teóricas para atender las tres grandes preguntas que deben ser contestadas en todo proceso de muestreo: *¿cómo* debo tomar las muestras?, *¿dónde* debo muestrear? y, *cuántas* muestras debo tomar? para que mis datos sean representativos de la población que pretendo estudiar.

1

INTRODUCCIÓN AL DISEÑO Y ANÁLISIS DEL MUESTREO DE POBLACIONES FINITAS

Jorge Navarro Alberto*

Muestreo de poblaciones finitas I

Diseño de encuestas por muestreo

A diferencia de los científicos físicos que realizan experimentos, los científicos sociales y de la vida silvestre llevan a cabo encuestas para recolectar una muestra. Reconocemos así, que existen diferencias de un campo de la ciencia a otro, en la naturaleza de las poblaciones y la naturaleza en la que una muestra puede ser extraída. Por ejemplo, la población de animales de una especie particular pueden contener únicamente un número pequeño de elementos.

Las limitaciones en el procedimiento de muestreo también varían de un área de la ciencia a otra. El muestreo en las ciencias físicas frecuentemente pueden ser ejecutadas bajo *condiciones experimentales controladas*. Tal control es prácticamente *imposible* en las ciencias sociales y manejo de recursos naturales. Por ejemplo, un investigador en medicina puede comparar el crecimiento de ratas sometidas a dos fármacos diferentes. Para este experimento los pesos iniciales de las ratas y la ingesta diaria de alimento pueden ser controlados para reducir alguna variación indeseable en el experimento. En contraste, muy pocas variables pueden ser controladas al estudiar el efecto de las condiciones ambientales sobre el número de venados en la Península de Yucatán.

Las técnicas descritas en este capítulo se han aplicado primordialmente en el diseño y análisis de encuestas, por ello el nombre dado a esta área de la estadísti-

* Departamento de Ecología. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Yucatán

ca. No obstante, las técnicas han sido ampliadas y mejoradas para dar cabida al muestreo de poblaciones biológicas, en ramas como la Ecología o el Manejo de Recursos Naturales. En este capítulo se presentan métodos básicos para el diseño y análisis del muestreo de poblaciones finitas útiles al manejador de recursos naturales. Al revisar cada tema, tenga presente que el objetivo primordial de cada sección es la *inferencia*. Identifique el procedimiento de muestreo asociado a cada sección, los parámetros poblacionales de interés, sus estimadores y los límites asociados a los errores de estimación.

Inferencia estadística

El objetivo de cualquier encuesta por muestreo es realizar inferencias acerca de una población de interés, partiendo de la información obtenida en una muestra de dicha población. Las inferencias en las encuestas por muestreo usualmente son dirigidas a la *estimación* de ciertas características numéricas de la población, tales como la media, el total o la varianza. Estas medidas descriptivas numéricas de la población se denominan *parámetros*.

Ejemplos de parámetros (parámetros-objetivo).

En esta parte introductoria consideraremos tres parámetros-objetivo que habitualmente se desearían estimar en estudios observacionales: la media, el total y la proporción de “éxito”. Los dos primeros parámetros son útiles cuando el investigador tiene interés en variables cuantitativas. En el cuadro 1 se ejemplifican situaciones en donde estos dos parámetros podrían ser estimados.

Cuadro 1

Variable	Total	Media
Peso de una vaca	Suma de pesos de todas las vacas de un hato	Total dividido por el número de vacas del hato
Superficie de una finca rústica	Suma de superficies en hectáreas	Total dividido por el número de fincas
Número de hijos de una familia	Suma de hijos	Total dividido por el número de familias
Contenido en miligramos de fósforo de una hoja	Suma de miligramos	Total dividido por el número de hojas

Ejemplos de totales y medias poblacionales.

Cuando en lugar de variables cuantitativas, el investigador solamente desea registrar una característica cualitativa *binaria* (es decir, a cada elemento de la

población corresponde una característica o *atributo* y_i que solo puede tomar dos valores, llamados técnicamente “éxito” y “fracaso”), entonces un parámetro-objetivo podría ser la proporción de “éxitos” en la población. Para calcular esta proporción se suma el número de veces que ocurre un “éxito”; entonces la proporción es igual a ese total dividido entre el número de elementos de la población. Por tanto, la proporción puede considerarse un caso particular de la media aritmética cuando el resultado de la medida tiene que ser o “éxito” o “fracaso”. Ejemplos de proporciones se dan en el Cuadro 2.

Desde ahora indicamos al lector que las fórmulas que iremos presentando en el transcurso de este capítulo (que se podrán identificar fácilmente por estar en cuadros etiquetados con la leyenda “CAJA #”), se referirán exclusivamente a los parámetros-objetivo media, total y proporción.

Cuadro 2

Atributo	Total de clase	Proporción
Venado adulto	Número de venados adultos	Total de la clase dividido por el número de animales (adultos y no-adultos)
Cultivo de maíz	Número de padres de familia campesina que cultivan maíz	Total de la clase dividido por el número de padres de familia campesina
Estado civil, soltero	Número de solteros	Total de la clase dividido por el número de individuos
Opinión positiva sobre determinada cuestión	Número de personas con opiniones positivass	Total de la clase dividido por el número de opiniones registradas

Ejemplos de proporciones poblacionales

Estimadores de parámetros

Un *estimador* es una función de variables aleatorias observables y quizás otras constantes conocidas, usado para estimar un parámetro.

Por ejemplo, la media muestral puede ser usada como un estimador de la media poblacional μ . Nótese que es \bar{y} una variable aleatoria y tiene una distribución de muestreo que depende del mecanismo muestral. Algunos de los posibles valores que \bar{y} puede tomar estarán cercanos a μ , y otros pueden estar bastante alejados de μ en cualquiera de los lados, positivo o negativo. Con los métodos que veremos en estas secciones, seleccionaremos un plan de muestreo que nos asegure que $E(\bar{y}) = \mu$ (el valor esperado de \bar{y} es μ) y que la varianza de, $V(\bar{y})$, es “pequeña”.

En general, sea θ un parámetro y sea $\hat{\theta}$ un estimador para θ . Dos propiedades deseables para $\hat{\theta}$ son:

1. $E(\hat{\theta}) = \theta$ (Insesgamiento de)
2. $V(\hat{\theta}) = \sigma_{\hat{\theta}}^2$ es pequeña. (Varianza mínima entre estimadores de θ).

Aunque la distribución de muestreo de $\hat{\theta}$ dependerá del mecanismo de muestreo y los tamaños de muestra y la población, en muchas situaciones se puede usar el Teorema del Límite Central para afirmar que $\hat{\theta}$ es aproximadamente normal. El Teorema del Límite Central y su aplicación a estimadores como \bar{y} o p (probabilidad de éxito de una población binomial) es adecuada si n , el tamaño de la muestra, es grande, digamos, $n \geq 30$.

Definición.

Sea θ un parámetro y $\hat{\theta}$ un estimador de θ . El error de estimación se define como: $|\hat{\theta} - \theta|$.

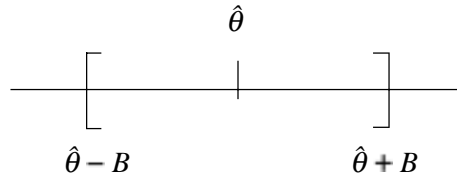
No podemos establecer que un estimador observado estará dentro de una distancia especificada de θ , pero podemos, aproximadamente, encontrar un límite tal que:

$$P(|\hat{\theta} - \theta| \leq B) = 1 - \alpha$$

para cualquier probabilidad deseada, $1 - \alpha$, donde $0 < \alpha < 1$. Si tiene una distribución normal, $B = z_{\alpha/2} \sigma_{\hat{\theta}}$, donde $z_{\alpha/2}$ es el valor que separa un área de $\alpha/2$ en la cola del lado derecho de la distribución normal estándar. Si, $1 - \alpha = .95$ entonces $z_{\alpha/2} = z_{0.025} = 1.96$, o sea, aproximadamente 2. Ya que muchos estimadores que usamos a lo largo de estas sesiones no van a tener una distribución precisamente normal para muchos valores de los tamaños de muestra n y de los tamaños de población N , y ya que el Teorema de Tchebysheff establece que al menos 75% de las observaciones para cualquier distribución de probabilidad estará dentro de dos desviaciones estándar de su media vamos a usar $2\sigma_{\hat{\theta}}$ como límite del error de estimación.

Esto nos da una $P(|\hat{\theta} - \theta| \leq B) = 0.95$ para los casos aproximadamente normales y $P(|\hat{\theta} - \theta| \leq B) \geq 0.75$ en cualquier otro caso, si $B = 2\sigma_{\hat{\theta}}$.

Si $P(|\hat{\theta} - \theta| \leq B) = 1 - \alpha$ entonces, $P(\hat{\theta} - B \leq \theta \leq \hat{\theta} + B) = 1 - \alpha$. En esta forma $[\hat{\theta} - B, \hat{\theta} + B]$, se denomina un *intervalo de confianza para θ con coeficiente de confianza $1 - \alpha$* . La cantidad $\hat{\theta} - B$ se llama el *límite inferior de confianza (LIC)* y $\hat{\theta} + B$ se llama el *límite superior de confianza (LSC)*.



Elementos del problema de muestreo

Consideraremos el problema particular del muestreo de poblaciones finitas, aunque ocasionalmente nos referiremos a poblaciones infinitas.

La cantidad de información obtenida en la muestra para hacer inferencias acerca de la población depende del número de elementos muestreados y de la cantidad de variación de los datos.

El *diseño de la encuesta por muestreo* es el método de selección de la muestra dirigido a controlar la variación de los datos que pudiera afectar la inferencia.

El diseño de la encuesta y el tamaño de la muestra determinan la cantidad de información pertinente a un parámetro poblacional, siempre y cuando se obtengan mediciones exactas en cada elemento muestreado. Como siempre estaremos sujetos a errores, la manera de controlar la exactitud de las mediciones sería mediante métodos adecuados de recolección de datos y por una buena elaboración del instrumento de muestreo (o cuestionario o plan de muestreo).

Ejemplo. En la comunidad de Villa Natura se realizó una encuesta de opinión para determinar la actitud del público hacia la creación de una nueva sección especial para acampar en un parque ecológico. El objetivo de la encuesta fue estimar la proporción del número de personas en la comunidad mayores de 18 años que pudieran hacer uso de la nueva sección para acampar.

Un *ítem* o *unidad experimental última* es un objeto en el cual se toman las mediciones. En el ejemplo anterior, una unidad experimental última es un habitante de la comunidad, mayor de 18 años.

La medición tomada de esta unidad experimental última es la preferencia del individuo en cuestión respecto a la posibilidad de uso, en el futuro, de la sección para acampar. Podría registrarse la medición como 0 = no lo usará; 1 = la usará.

Una *población* es una colección de elementos acerca de los cuales deseamos hacer una inferencia. La población en el ejemplo de anterior es la colección de los habitantes mayores de 18 años de la comunidad. Otros ejemplos de poblaciones podrían ser todos los hospitales en una ciudad, todos los pacientes con una enfermedad ahora y en el futuro, todos los venados cola blanca en un área, o todas

las órdenes de pago procesadas por una compañía en el período de un año. Algunas poblaciones, tales como los hospitales en una ciudad, son de un tamaño finito de modo que pueden determinarse si es necesario. Otras, como los pacientes con un enfermedad ahora y en el futuro son finitas, pero de un tamaño indeterminado. En algunos casos una población es infinita, como son los resultados que pueden obtenerse repetidamente al lanzar una moneda y ver si el resultado es águila o sol.

Consideraciones importantes

Uno debe definir cuidadosa y completamente la población *antes* de recolectar la muestra. Así, debemos distinguir entre la *población muestreada* y la *población objetivo*, puesto que algunas partes de la población objetivo pueden ser imposibles de alcanzar (p.e. los “niños de la calle” o los “mendigos” en ciudades grandes no están en listas y no tienen residencias permanentes). Sin embargo, ellos son aún parte de la población de la ciudad. De manera similar, al considerar la población de pacientes potenciales con una enfermedad, no hay manera de muestrear a aquellos que no han nacido aun. Los estudios deberán ser diseñados de modo que la correspondencia entre la población objetivo y la población muestreada sea lo más estrecha posible.

Volviendo al ejemplo, si la única población disponible para el muestreo es una lista de residentes de la comunidad, entonces se debe recolectar información acerca de la edad de la persona muestreada y, así, identificar si el individuo tiene más de 18 años.

Las *unidades de muestreo* son colecciones no sobrelapadas de elementos de la población que cubren la población completa.

En el ejemplo anterior, una unidad de muestreo puede ser un habitante de la comunidad mayor de 18 años, visitante potencial o no, de la zona para acampar en el parque. Sin embargo, un proceso más eficiente puede ser muestrear hogares (colecciones de unidades experimentales últimas). Si los hogares son unidades de muestreo, éstos deben definirse de tal manera que ninguna persona mayor de 18 años de la población pueda ser muestreada más de una vez, y que cada unidad experimental última tenga alguna oportunidad de ser seleccionada.

NOTA. Las muestras de parcelas tomadas, por ejemplo, en estudios en una región en donde vive un animal, son frecuentemente circulares. A pesar de sus ventajas, obviamente las parcelas no pueden cubrir un campo sin que ocurra algún sobrelapamiento. Se sugiere que éste sea lo más pequeño posible para lograr un muestreo eficiente.

Un *marco* es una lista de unidades de muestreo. Como ilustración de lo que podría ser un marco, consideremos de nuevo el ejemplo de Villa Natura. Si especificamos al visitante del parque, potencial o no, mayor de 18 años, habitante de la comunidad, como unidad de muestreo = unidad experimental última, una lista de estos elementos puede servir como el marco de esta encuesta. Tomando en cuenta que el marco tiene que tomarse de una lista más amplia, no está claro muchas veces cuáles son los elementos de la población. Además actualizar la lista diariamente es imposible. En otras situaciones, un directorio de la ciudad o una lista de padres de familia obtenida de los datos del censo puede servir como un marco.

Algunos esquemas de muestreo pueden requerir de marcos múltiples. Por ejemplo, la estimación de rendimientos de un cultivo en un estado, puede involucrar una lista de productores para ser entrevistados y una lista de parcelas para ser medidas.

Una *muestra* es una colección de unidades seleccionadas de un marco o varios marcos. En el ejemplo de la encuesta sobre una nueva sección del parque, cierto número de habitantes con las características señaladas (la muestra) va a ser entrevistado para determinar su posibilidad de uso de la nueva sección. Podemos usar la información obtenida de estos habitantes acerca de la opinión de los habitantes mayores de 18 años en toda la comunidad.

- Por qué tomar muestras?

Hay tres razones principales por las que en una población se deben tomar muestras en lugar de realizar censos:

1. Puede ser impráctico un censo completo debido al costo y el esfuerzo involucrados (p.e. un botánico puede no tener suficiente tiempo para muestrear cada planta en un área).
2. El muestreo es más rápido que un conteo completo (p.e. una administración gubernamental puede decidir tomar una muestra del 10% de la población porque los resultados de un censo completo pueden estar parcialmente obsoletos en el momento en que sean procesados).
3. Las muestras pueden ser más exactas que los censos completos. La tercera razón puede ser sorprendente. Esto sucede porque a menudo los errores más grandes en la encuesta no son los *errores de muestreo* (debidos a los efectos casuales al seleccionar las unidades experimentales). Más bien, son los *errores de no-muestreo* que se deben a cosas como un muestreo sesgado, datos

mal registrados, preguntas no entendidas correctamente, registros perdidos, etc. Una muestra relativamente pequeña pero bien organizada puede dar mejores resultados que una encuesta completa o una muestra grande que no puede ser administrada debido a la falta de recursos.

- ¿Cómo seleccionar la muestra? El diseño de la encuesta por muestreo.

Si θ es el parámetro de interés en una población y $\hat{\theta}$ es el estimador de θ , debemos especificar un límite o cota para el error de estimación, B .

$$\text{error de estimación} = |\hat{\theta} - \theta| < B$$

con la condición de que:

$$P(\text{error de estimación} < B) = 1 - \alpha$$

Una selección usual de B es: $B = 2\sigma_{\hat{\theta}}$ ($1 - \alpha \approx 0.95$).

Después de obtener un límite específico con su probabilidad asociada $1 - \alpha$, podemos comparar diseños diferentes para determinar cuál procedimiento proporciona la precisión deseada al mínimo costo. Los diseños básicos se irán tratando en las siguientes secciones.

Muestreo irrestricto aleatorio. Procedimiento y estimaciones de medias, totales y proporciones

Diseño básico: Muestreo irrestricto aleatorio (m.i.a).

Si un tamaño de muestra n es seleccionado de una población de tamaño N de tal manera que cada muestra posible de tamaño n tiene la misma probabilidad de ser seleccionada, el procedimiento de muestreo se denomina *muestreo irrestricto aleatorio*. A la muestra obtenida se llama *muestra irrestricta aleatoria*.

Lo que es importante aquí es el proceso de selección más que el resultado. Por tanto, una muestra puede ser aleatoria aun cuando parezca que no es aleatoria porque sucede que por pura casualidad sus elementos provienen de una parte pequeña de la población. Por ejemplo, si se toma una muestra aleatoria de muje-

res de una comunidad campesina entonces se podría notar que pareciera contener demasiadas mujeres jóvenes. Esto no invalida la muestra puesto que la mayoría de las muestras pequeñas tienen alguna apariencia de no ser representativas.

¿Cómo seleccionar una muestra irrestricta aleatoria? Con la ayuda de tablas de números aleatorios (o calculadoras con números aleatorios). La selección de números corresponderá al número de elementos de la muestra, de entre un total de N elementos de la población. Con base en esta selección, se procede al muestreo mismo.

¿Cómo se analizan los datos generados por un muestreo irrestricto aleatorio? El análisis de los datos generados dependerá del parámetro-objetivo. En las Cajas 1 y 2, se describen los estimadores para la media y el total poblacionales, respectivamente. En estos casos, se supone que la variable medida en cada unidad muestral es continua. Así, y_i representa la variable medida en la i -ésima unidad de muestreo seleccionada por el m.i.a., $i = 1, 2, \dots, n$.

Caja 1

$$\hat{\mu} = \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (\text{media muestral de } y)$$

VARIANZA ESTIMADA DE: $\hat{V}(\bar{y}) = \frac{s^2}{n} \left(\frac{N-n}{N} \right)$

Donde $s^2 = \frac{\sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}{n-1}$ (varianza muestral de y)

LÍMITE PARA EL ERROR DE ESTIMACIÓN: $2\sqrt{\hat{V}(\bar{y})} = 2\sqrt{\frac{s^2}{n} \left(\frac{N-n}{N} \right)}$

Estimador de la media poblacional m , muestreo irrestricto aleatorio

NOTAS

- La cantidad $(N-n)/N$ se llama *corrección por población finita* (cpf). Cuando n sea relativamente pequeña con respecto al tamaño de la población, la cpf estará muy cercana a 1. En la práctica, la cpf puede despreciarse si $(N-n)/N \cdot 0.95$, o equivalentemente, si $n \leq (\frac{1}{30})N$. En tal caso, la varianza estimada de es la cantidad s^2/n , conocida como el *error estándar de la media muestral*.
- Las fórmulas dadas arriba se justifican por el *Teorema del Límite Central*.

- En muchos casos el tamaño de la población no está claramente definido o se desconoce. Por ejemplo, generalmente es imposible conocer el número de contribuyentes de un estado, en donde se quisiera seleccionar una muestra de tal población acerca de sus ingresos. Aquí N se supone grande y la cpf se omite.

Ejercicio (Scheaffer *et al.* 1987, pág. 68).

1. Los encargados de administrar los recursos de los terrenos dedicados a la caza silvestre están interesados en el tamaño de las poblaciones de venado y de conejo en los meses de invierno en un bosque particular. Como una estimación del tamaño de la población, los administradores proponen usar el número promedio de grupos densos de conejos y de venados por parcelas de 10 metros por lado. Una muestra irrestricta aleatoria de $n = 500$ parcelas fue seleccionada, y se observó un número de grupos densos de conejos y de venados. Los resultados de este estudio se resumen en el cuadro 3. Estime m_1 y m_2 , el número promedio de grupos densos de venados y de conejos, respectivamente, por parcelas de 10 metros por lado. Establezca los límites para los errores de estimación.

Cuadro 3

Venados	Conejos
Media muestral = 2.30	Varianza muestral = 0.65
Media muestral = 4.52	Varianza muestral = 0.97

Grupos densos de venados y conejos

Caja 1

$$\hat{\tau} = N\bar{y} = \frac{N \sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

VARIANZA ESTIMADA DE: $\hat{\tau}$ $\hat{V}(\hat{\tau}) = \hat{V}(N\bar{y}) = N^2 \left(\frac{s^2}{n} \right) \left(\frac{N-n}{N} \right)$

LÍMITE PARA EL ERROR DE ESTIMACIÓN:

$$2\sqrt{\hat{V}(\hat{\tau})} = 2\sqrt{\hat{V}(N\bar{y})} = 2\sqrt{N^2 \left(\frac{s^2}{n} \right) \left(\frac{N-n}{N} \right)}$$

Estimador del total poblacional τ en el m.i.a.

Ejercicio (Modificado de Scheaffer *et al.* 1987, pág. 70).

- Un investigador está interesado en estimar el número total de “árboles marcados” (árboles más grandes que cierto tamaño específico) en una plantación de $N=1500$ mecatres (parcelas de 400 m^2 c/u). Esta información se utiliza para estimar el volumen total de madera aserrada para los árboles de la plantación. Una muestra irrestricta aleatoria de $n=100$ parcelas de 1 mecate fue seleccionada, y cada parcela fue examinada en relación con el número de árboles marcados. El promedio muestral para las $n=100$ parcelas de 1 mecate fue, con una varianza muestral de $s^2=136$. Estime el número total de árboles marcados en la plantación. Establezca un límite para el error de estimación.

Caja 3

$$\hat{\pi} = p = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{Si la } i\text{-ésima unidad de muestreo posee la característica deseada de otro modo} \\ 0 & \end{cases}$$

VARIANZA ESTIMADA DE $\hat{\pi}$: $\hat{V}(\hat{\pi}) = \hat{V}(p) = \frac{pq}{n-1} \left(\frac{N-n}{N} \right); \quad q = 1 - p$

LÍMITE PARA EL ERROR DE ESTIMACIÓN:

$$2\sqrt{\hat{V}(\hat{\pi})} = 2\sqrt{\hat{V}(p)} = 2\sqrt{\frac{pq}{n-1} \left(\frac{N-n}{N} \right)}$$

Estimador de una proporción poblacional $\hat{\pi}$ en el m.i.a.

$\hat{\pi}$ es simplemente el número de “éxitos” dividido entre el tamaño de muestra, o sea, $\hat{\pi}$ es el número promedio de “éxitos” en la muestra.

Ejercicio (Scheaffer *et al.* 1987, pág. 69).

- El Departamento de Caza y Pesca de cierto estado está interesado en la dirección de sus programas futuros de caza. Para mantener un potencial mayor de caza futura, el departamento desea determinar la proporción de cazadores que buscan cualquier tipo de ave de caza. Se obtuvo una muestra irrestricta aleatoria de $n = 1000$ de los $N = 99,000$ cazadores con permiso. Suponga que

430 indicaron que cazaron aves. Estime $\hat{\pi}$, la proporción de cazadores con permiso que buscan aves de caza. Establezca un límite para el error de estimación.

Muestreo aleatorio estratificado. Procedimiento y estimaciones de medias, totales y proporciones

Diseño básico: Muestreo aleatorio estratificado (m.a.e).

Aunque el diseño de muestreo irrestricto aleatorio suele suministrar buenas estimaciones de cantidades poblacionales a un costo bajo, es posible incrementar la cantidad de información para un costo dado con el muestreo aleatorio estratificado.

Muestra aleatoria estratificada

Una muestra aleatoria estratificada es la obtenida mediante la separación de la población en grupos que no presenten traslapes llamados *estratos* y la selección posterior de una muestra irrestricta aleatoria en cada estrato.

En general, no hay nada que perder al usar este tipo de muestreo más complicado, pero hay algunas ganancias potenciales. Primero, si los individuos dentro de cada estrato son mucho más similares que los individuos en general, entonces la estimación de la media poblacional global tendrá un error estándar menor que el que puede obtenerse con un muestreo irrestricto aleatorio del mismo tamaño muestral. Segundo, puede ser de valor tener estimaciones separadas de los parámetros poblacionales para los diferentes estratos. Tercero, la estratificación hace posible muestrear diferentes partes de una población en diferentes formas, lo cual puede constituir un posible ahorro en los costos.

Generalmente, los tipos de estratificación que deberían ser considerados son aquellos basados en ubicaciones espaciales, regiones dentro de las cuales se espera que la población sea uniforme. Por ejemplo, al muestrear una población de plantas sobre un área grande es natural tomar un mapa y partir el área en unos cuantos estratos aparentemente homogéneos basados en factores tales como altitud y tipo de vegetación. Al muestrear insectos en árboles puede tener sentido estratificar con base en diámetros pequeños, medios y grandes de los árboles. Al muestrear casas-habitación, un poblado puede dividirse en regiones en donde las características de edad y clase social son relativamente uniformes. Usualmente la

elección de qué estratificar es sólo una cuestión de sentido común para la encuesta en cuestión.

- ¿Cómo seleccionar una muestra aleatoria estratificada?

1. Especificar claramente los estratos: cada unidad muestral debe ubicarse en uno y sólo un estrato apropiado
2. Seleccionar una muestra irrestricta aleatoria de cada estrato, mediante la técnica correspondiente
3. Asegurarse que las muestras seleccionadas en los estratos sean independientes

Notación para el muestreo aleatorio estratificado.

L = número de estratos.

N_i = número de unidades muestrales en el estrato i .

N = número de unidades muestrales en la población
= $N_1 + N_2 + \dots + N_L$.

n_i = tamaño de la muestra en el estrato i .

N = tamaño de la muestra combinada
= $n_1 + n_2 + \dots + n_L$.

Puede verse en la Caja 4 que la estimación de la media poblacional en el m.a.e. es un promedio pesado o ponderado de las medias de las muestras irrestrictas aleatorias en cada estrato, donde los pesos son los tamaños proporcionales de los estratos: N_i/N . De manera similar, la varianza de la media muestral en el m.a.e. es una ponderación de las varianzas de las muestras irrestrictas aleatorias de cada estrato. Estas ponderaciones aparecen también en las fórmulas correspondientes a la estimación de un total en el m.a.e.

Caja 4

$$\bar{y}_{est} = \frac{1}{N} [N_1 \bar{y}_1 + N_2 \bar{y}_2 + \dots + N_L \bar{y}_L] = \sum_{i=1}^L \frac{N_i}{N} \bar{y}_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^L N_i \bar{y}_i$$

VARIANZA ESTIMADA DE: \bar{y}_{est}

$$\begin{aligned} \hat{V}(\bar{y}_{est}) &= \frac{1}{N^2} [N_1^2 \hat{V}(\bar{y}_1) + N_2^2 \hat{V}(\bar{y}_2) + \dots + N_L^2 \hat{V}(\bar{y}_L)] \\ &= \frac{1}{N^2} \left[N_1^2 \left(\frac{N_1 - n_1}{N_1} \right) \left(\frac{s_1^2}{n_1} \right) + \dots + N_L^2 \left(\frac{N_L - n_L}{N_L} \right) \left(\frac{s_L^2}{n_L} \right) \right] \\ &= \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^L N_i^2 \left(\frac{N_i - n_i}{N_i} \right) \left(\frac{s_i^2}{n_i} \right) \end{aligned}$$

LÍMITE PARA EL ERROR DE ESTIMACIÓN:

$$2\sqrt{\hat{V}(\bar{y}_{est})} = 2\sqrt{\frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^L N_i^2 \left(\frac{N_i - n_i}{N_i} \right) \left(\frac{s_i^2}{n_i} \right)}$$

Estimador de la media poblacional m para el m.a.e.

Ejemplo (Manly, 1992, págs. 30-31).

En un bosque se disponen 4 bloques, y cada bloque se subdivide en parcelas de 20×20 , haciendo un total de 400 parcelas por bloque. Para estimar el número de árboles en el bosque, se toma una muestra aleatoria de los bloques (estratos) eligiendo un número de renglón aleatorio entre 1 y 20 y un número de columna aleatorio entre 1 y 20, usando un generador de números aleatorios en una computadora. Esto produce los conteos muestrales para el número de árboles por parcela que se muestra en el cuadro 4.

Con estos datos, la media de la población estimada se encuentra usando la ecuación del cuadro correspondiente a la estimación de μ : $\bar{y}_{est} = 5.075$, con un error estándar de $\hat{V}(\bar{y}_{est}) = 0.238$.

Ejercicio (Scheaffer *et al.* 1987, pág. 114)

1. Una escuela desea estimar la calificación promedio que pueden obtener estudiantes de sexto grado en un examen de comprensión de lectura. Los estu-

diantes de la escuela son agrupados en tres estratos, los que aprenden de manera rápida en el estrato I, los que aprenden regular en el estrato II y los que aprenden lento en el estrato III. La escuela decide esta estratificación porque de esta manera se reduce la variabilidad en las calificaciones del examen. El sexto grado contiene 55 estudiantes en el estrato I, 80 en el estrato II y 65 en el estrato III. Una muestra aleatoria estratificada de 50 estudiantes es asignada proporcionalmente y produce muestras irrestrictas aleatorias de $n_1=14$, $n_2=20$ y $n_3=16$ de los estratos I, II y III respectivamente. El examen se aplica a la muestra de estudiantes y se obtienen los resultados que se muestran en el cuadro 5. Estimar: a) La calificación promedio para este grado y b) Un límite para el error de estimación.

Cuadro 4

Unidad Muestral	Estrato			
	1	2	3	4
1	8	3	8	0
2	6	5	3	4
3	8	5	5	3
4	6	6	8	4
5	7	2	2	5
6	7	4	4	4
7	7	6	7	6
8	6	4	6	3
9	8	5	5	3
10	8	3	7	4
Media	7.1	4.3	5.5	3.4
Desviación estándar	0.88	1.34	2.07	1.65

Número de árboles por bloque o estrato

Cuadro 5

Estrato I		Estrato II		Estrato III	
80	92	85	82	42	32
68	85	48	75	36	31
72	87	53	73	65	29
85	91	65	78	43	19
90	81	49	69	53	14
62	79	72	81	61	31
61	83	53	59	42	30
		68	52		
		71	61		
		59	42		

Calificaciones por estratos

Caja 5

$$\hat{t}_{est} = N\bar{y}_{est} = N_1\bar{y}_1 + N_2\bar{y}_2 + \dots + N_L\bar{y}_L = \sum_{i=1}^L N_i\bar{y}_i$$

VARIANZA ESTIMADA DE: $N\bar{y}_{est}$

$$\hat{V}(N\bar{y}_{est}) = N^2\hat{V}(\bar{y}_{est}) = \sum_{i=1}^L N_i^2 \left(\frac{N_i - n_i}{N_i} \right) \left(\frac{s_i^2}{n_i} \right)$$

LÍMITE PARA EL ERROR DE ESTIMACIÓN:

$$2\sqrt{\hat{V}(\bar{y}_{est})} = 2\sqrt{\sum_{i=1}^L N_i^2 \left(\frac{N_i - n_i}{N_i} \right) \left(\frac{s_i^2}{n_i} \right)}$$

Estimador de la media poblacional m para el m.a.e.

Ejemplo.

Respecto al ejemplo referido arriba acerca del muestreo estratificado de árboles en un bosque, y tomando como base los resultados del mismo, obtenemos el número total de árboles estimados en la población como:

$$\hat{t}_{est} = N\bar{y}_{est} = 1600 \cdot 5.075 = 8210$$

El error estándar estimado es:

$\sqrt{\hat{V}(N\bar{y}_{est})} = N\sqrt{\hat{V}(\bar{y}_{est})} = 1600 \cdot 0.238 = 380.8$. De aquí, el intervalo de confianza aproximado del 95% para el total poblacional es 8120 ± 380.8 , o de 7359 a 8882.

Ejercicio (Scheaffer *et al.* 1987, pág. 115)

2. Un guardabosques quiere estimar el número total de acres plantados de árboles en los ranchos de un estado. Ya que el número de acres de árboles varía considerablemente con respecto al tamaño del rancho, decide estratificar con base en el tamaño de los ranchos. Los 240 ranchos en el estado son puestos en una de 4 categorías de acuerdo con el tamaño. Una muestra aleatoria estratificada de 40 ranchos, seleccionada mediante asignación proporcional,

produce los resultados del número de acres plantados de árboles que se muestran en el cuadro 6. Estime el número total de acres plantados de árboles en los ranchos del estado, y fije un límite para el error de estimación.

El ejercicio 6, que se presenta a continuación, se resuelve mediante la estimación de una proporción poblacional para un m.a.e. El resumen de las fórmulas correspondientes se da en la Caja 6. Nuevamente, el estimador del parámetro en cuestión es un promedio pesado de las estimaciones de las proporciones poblacionales en cada estrato, con pesos iguales a N_i/N .

Cuadro 6

Estrato I		Estrato II		Estrato III		Estrato IV	
$N_1 = 86$		$N_2 = 72$		$N_3 = 52$		$N_4 = 30$	
$n_1 = 14$		$n_2 = 12$		$n_3 = 9$		$n_4 = 5$	
97	67	125	155	142	256	167	655
42	125	67	96	310	440	220	540
25	92	256	47	495	510	780	
105	86	310	236	320	396		
27	43	220	352	196			
45	59	142	190				
	53	21					

Número de árboles por tamaño de rancho

Ejercicio (Scheaffer *et al.* 1987, pág. 115)

- Una administración municipal está interesada en ampliar las instalaciones de un centro de atención diurna para niños con retraso mental. La ampliación va a incrementar los costos de asistencia a los niños del centro. Se realiza una encuesta por muestreo para estimar la proporción de familias con niños afectados que utilizarán las instalaciones ampliadas. Las familias viven en la ciudad donde se encuentra localizado el centro, y otras viven en las áreas rurales o suburbanas de los alrededores. Entonces se usa muestreo aleatorio estratificado con personas en la ciudad que usan las instalaciones, personas de los alrededores que las usan, personas en la ciudad que no las usan y personas en los alrededores que no las usan, formando los estratos I, 2, 3 y 4, respectivamente. Registros existentes nos dan $N_1 = 97$, $N_2 = 43$, $N_3 = 145$ y $N_4 = 68$. Se obtiene la siguiente proporción que usarán las nuevas instalaciones: $p_1 = 0.87$, $p_2 = 0.93$, $p_3 = 0.60$, $p_4 = 0.53$. Estime la proporción poblacional, p , y establezca un límite para el error de estimación.

Caja 6

$$\hat{x}_{est} = p_{est} = \frac{1}{N} [N_1 p_1 + N_2 p_2 + \dots + N_L p_L] = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^L N_i p_i$$

VARIANZA ESTIMADA DE:

$$\begin{aligned} \hat{V}(p_{est}) &= \frac{1}{N^2} [N_1^2 \hat{V}(p_1) + N_2^2 \hat{V}(p_2) + \dots + N_L^2 \hat{V}(p_L)] \\ &= \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^L N_i^2 \left(\frac{N_i - n_i}{N_i} \right) \left(\frac{p_i q_i}{n_i - 1} \right) \end{aligned}$$

LÍMITE PARA EL ERROR DE ESTIMACIÓN:

$$2\sqrt{\hat{V}(\bar{y}_{est})} = 2\sqrt{\frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^L N_i^2 \left(\frac{N_i - n_i}{N_i} \right) \left(\frac{p_i q_i}{n_i - 1} \right)}$$

Aquí p_i es la estimación de la proporción de éxito en el l -ésimo estrato; $q_i = 1 - p_i$

Estimador de la media poblacional π para el m.a.e.

Contrastes entre el muestreo irrestricto aleatorio y el muestreo estratificado aleatorio. Regla óptima para formar estratos

- La varianza estimada de un parámetro puede ser menor en el muestreo irrestricto aleatorio que en el muestreo estratificado aleatorio. Esto puede deberse a que hay mucha variación dentro de algún estrato (ver ejemplo 5.16, del Scheaffer *et al.* (1987), págs. 103-105).
- Si nuestro objetivo en la estratificación es producir estimadores con varianza pequeña, entonces el mejor criterio para definir los estratos es el conjunto de valores que la respuesta puede tomar. Por ejemplo, supóngase que deseamos estimar el ingreso promedio por hogar en una comunidad. Podríamos estimar este promedio con bastante exactitud si pudiéramos poner todos los hogares de bajos ingresos en un estrato y todos los hogares de altos ingresos en otro estrato antes de muestrear. Pero frecuentemente esto es imposible porque el conocimiento detallado de los ingresos antes del muestreo hace desaparecer en principio el problema estadístico. Sin embargo, en ocasiones tenemos algunas frecuencias de datos en categorías generales de la variable

de interés o de alguna variable altamente correlacionada. Para delimitar los estratos, existe el “*método acumulativo de la raíz cuadrada de la frecuencia*”. Esta regla para encontrar el número adecuado de estratos, L , se aplica como sigue:

1. Tabular los datos disponibles en una distribución de frecuencias basada en la variable de estratificación
2. Calcular la raíz cuadrada de la frecuencia observada y acumula estas raíces cuadradas hacia abajo de la tabla
3. Obtener los límites superiores de los estratos para L estratos de los puntos igualmente espaciados

$$\text{Frontera del } i\text{-ésimo estrato} = \left(\frac{\text{Máxima } \sqrt{f} \text{ acumulada}}{L} \right) \times i$$

Ejercicio (Krebs, 1989, pág. 223-225)

4. Se tomó del Cuadro 6.4 de Krebs (1989). Son las abundancias de almejas de la costa de New Jersey en 1981, de acuerdo a los datos originales publicados por Iachan (1985), dispuestos en orden de la profundidad de la muestra. El objetivo es estimar la abundancia de almejas para esta región. En este caso la estratificación se lleva a cabo con base en una variable auxiliar “profundidad”. Haz la delimitación de las muestras en $L = 5$ estratos y, después, estima la abundancia media global con base en la estratificación generada (Cuadro 7).

Ejercicio (Krebs, 1989, pág. 235)

5. Tabular el número observado de almejas (X) en el cuadro 7 en una distribución de frecuencias acumulativa. Estimar los límites óptimos de los estratos para esta variable, basado en tres estratos, usando el procedimiento acumulativo de la raíz cuadrada de la frecuencia. ¿Qué tanto difieren los resultados de esta estratificación de los obtenidos estratificando con la variable profundidad.

Cuadro 7

Clase	Profundidad, Y (m)	No. de <i>f</i> muestras	Número de almejas observadas, X
1	14	4	34, 128, 13, 0
2	15	1	27
3	18	2	361, 4
4	19	3	0, 5, 363
5	20	4	176, 32, 122, 41
6	21	1	21
7	22	2	0, 0
8	23	5	9, 112, 255, 3, 65
9	24	4	122, 102, 0, 7
10	25	2	18, 1
11	26	2	14, 9
12	27	1	3
13	28	2	8, 30
14	29	3	35, 25, 46
15	30	1	15
16	32	1	11
17	33	4	9, 0, 4, 19
18	34	2	11, 7
19	35	3	2, 10, 97
20	36	2	0, 10
21	37	3	2, 1, 10
22	38	2	4, 13
23	40	3	0, 1, 2
24	41	4	0, 2, 2, 15
25	42	1	13
26	45	2	0, 0
27	49	1	0
28	52	1	0

Frecuencia de almejas observadas a diferentes profundidades

Muestreo sistemático. Procedimiento y estimaciones de medias, totales y proporciones

Diseño básico: *Muestreo sistemático (m.s.)*

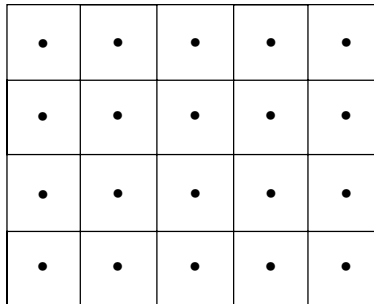
El muestreo irrestricto aleatorio y el muestreo aleatorio estratificado requieren un trabajo muy detallado en el proceso de selección de la muestra. Las unidades de muestreo en un marco adecuado deben ser numeradas de modo que un mecanismo de aleatorización, tal como una tabla de números aleatorios, pueda utilizarse para seleccionar unidades específicas de la muestra.

Un diseño de muestreo usado a menudo debido principalmente a que simplifica el proceso de selección de la muestra se denomina *muestreo sistemático*.

Ejemplo. (Krebs, 1989, págs. 227-229.)

Los ecólogos usan a menudo muestreo sistemático en el campo. Así, las trampas para ratones pueden ser puestas sobre una línea o en una retícula en intervalos a 50 metros. O el llamado método de la distancia del punto-cuarto pudiera aplicarse a lo largo de una línea siguiendo una brújula con 100 metros entre puntos. De hecho, el tipo de muestreo sistemático más común en ecología es el *área de muestreo sistemático céntrico* ilustrado en la Figura 1. El área de estudio se subdivide en cuadrados iguales y una unidad muestral se toma del centro de cada cuadro. Las muestras a lo largo del límite exterior están a la mitad de la distancia de la frontera como lo están de la muestra más cercana. Nótese que una vez que ha sido especificado el número de muestras, solamente hay una muestra céntrica para cualquier área –todas las otras muestras serán excéntricas–.

Figura 1



Desde el punto de vista de la teoría del muestreo por encuesta de poblaciones finitas, el muestreo sistemático, se define como sigue:

Una muestra obtenida al seleccionar aleatoriamente un elemento de los primeros k elementos en el marco y después seleccionar cada k -ésimo elemento, se denomina *muestra sistemática de 1 en k* .

El muestreo sistemático proporciona una opción útil para el muestreo irrestricto aleatorio por las siguientes razones:

1. El muestreo sistemático es fácil de llevar a cabo en el campo, y por tanto, a diferencia de las muestras irrestrictas aleatorias y las muestras aleatorias estratificadas, está menos expuesto a errores de selección que cometen los investigadores en el campo.

2. El muestreo sistemático puede proporcionar mayor información que la que puede proporcionar el muestreo irrestricto aleatorio por unidad de costo. Esto puede ser consecuencia del deseo de muestrear de manera “pareja” a lo largo del área de estudio completa (por ejemplo en ecología, todo un hábitat).

• ¿Cómo seleccionar una muestra sistemática?

1. Se selecciona algún “punto de arranque”, entre 1 y k , para localizar en el marco. Se requiere conocer el tamaño de la población N para poder seleccionar exactamente k . En este caso, para una muestra sistemática de n elementos de una población de tamaño N , k debe ser un número aleatorio menor o igual que N/n ($k \leq N/n$).
2. Se selecciona una unidad al azar entre 1 y k , y después se selecciona cada k -ésimo elemento desde el “punto de arranque”.

Ejemplo (Scheaffer *et al.*, 1987, pág. 171).

Un investigador en medicina está interesado en obtener información acerca del número promedio de veces en que 15000 especialistas recetaron un cierto medicamento en el año anterior ($N = 15000$). Si se quisiera seleccionar una muestra sistemática con $n = 100$ elementos de la población, elegimos el valor de $k \leq N/n = 15,000/100 = 150$. Supóngase que el valor de k elegido es $k = 9$. Entonces podríamos seleccionar un nombre (especialista) al azar de entre los primeros $k = 9$ nombres que aparecen en la lista y luego seleccionar cada noveno nombre hasta que el tamaño de muestra 100 es seleccionado. Esta muestra sistemática es de 1 en 9.

NOTA. En las estimaciones de m y p , si N es desconocida, eliminamos la corrección por población finita (c.p.f.) a saber, $(N-n)/N$, en las ecuaciones correspondientes.

Caja 7

$$\hat{\mu} = \bar{y}_{\text{sist}} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

VARIANZA ESTIMADA DE \bar{y}_{sist} : $\hat{V}(\bar{y}_{\text{sist}}) = \frac{s^2}{n} \left(\frac{N-n}{N} \right)$

donde $s^2 = \frac{\sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}{n-1}$

LÍMITE PARA EL ERROR DE ESTIMACIÓN: $2\sqrt{\hat{V}(\bar{y}_{\text{sist}})} = 2\sqrt{\frac{s^2}{n} \left(\frac{N-n}{N} \right)}$

Estimador de la media poblacional m en el muestreo sistemático

Caja 8

(Requisito: Conocer N , el tamaño de la población)

$$\hat{t}_{\text{sist}} = N\bar{y}_{\text{sist}}$$

VARIANZA ESTIMADA DE \hat{t}_{sist} : $\hat{V}(\hat{t}_{\text{sist}}) = \hat{V}(N\bar{y}_{\text{sist}}) = N^2 \left(\frac{s^2}{n} \right) \left(\frac{N-n}{N} \right)$

LÍMITE PARA EL ERROR DE ESTIMACIÓN:

$$2\sqrt{\hat{V}(\hat{t}_{\text{sist}})} = 2\sqrt{\hat{V}(N\bar{y}_{\text{sist}})} = 2\sqrt{N^2 \left(\frac{s^2}{n} \right) \left(\frac{N-n}{N} \right)}$$

Estimador de un total poblacional t en el m.s.

¿Es correcto usar las fórmulas para el m.i.a en las estimaciones de parámetros basados en una m.s.? Reconocerás que la varianza estimada de \bar{y}_{sist} , \hat{t}_{sist} y p_{sist} es idéntica a la varianza estimada de usando m.i.a. Este resultado no implica que las varianzas poblacionales sean iguales.

La varianza de \bar{y}_{mia} es: $V(\bar{y}_{\text{mia}}) = \frac{\sigma^2}{n} \left(\frac{N-n}{N-1} \right)$. Mientras que en el muestreo

sistemático es: $V(\bar{y}_{\text{sist}}) = \frac{\sigma^2}{n}(1 + (n-1)\rho)$, donde es una medida de correlación entre pares de elementos dentro de la misma muestra sistemática.

Caja 9

$$\hat{\pi}_{\text{sist}} = p_{\text{sist}} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n},$$

$y_i = \begin{cases} 1 & \text{Si la } i\text{-ésima unidad de muestreo posee la característica deseada de otro modo} \\ 0 & \end{cases}$

VARIANZA ESTIMADA DE p_{sist} :

$$\hat{V}(\hat{\pi}_{\text{sist}}) = \hat{V}(p_{\text{sist}}) = \frac{p_{\text{sist}} q_{\text{sist}}}{n-1} \left(\frac{N-n}{N} \right); \quad q_{\text{sist}} = 1 - p_{\text{sist}}$$

LÍMITE PARA EL ERROR DE ESTIMACIÓN:

$$2\sqrt{\hat{V}(\hat{\pi}_{\text{sist}})} = 2\sqrt{\hat{V}(p_{\text{sist}})} = 2\sqrt{\frac{p_{\text{sist}} q_{\text{sist}}}{n-1} \left(\frac{N-n}{N} \right)}$$

Estimador de una proporción poblacional p en el m.s.

- Si $\rho \geq 1$, entonces los elementos dentro de la muestra son bastante similares con respecto a la característica que se está midiendo y el muestreo sistemático producirá una varianza de la media muestral mayor que la obtenida por el m.i.a.
- Si ρ es negativo, entonces el muestreo sistemático puede ser mejor que el m.i.a. La correlación puede ser negativa si los elementos dentro de la muestra sistemática tienden a ser extremadamente diferentes.
- ρ no puede alcanzar un valor negativo muy grande como para que la expresión de la varianza llegue a ser negativa.
- Para ρ cercano a cero y N bastante grande, el muestreo sistemático y el m.i.a. son aproximadamente iguales.

En general, cuando el muestreo sistemático es equivalente al m.i.a. podemos tomar $V(\hat{\theta}_{\text{sist}})$ (por ejemplo, $V(\bar{y}_{\text{sist}})$) como aproximadamente igual a la varianza estimada de $\hat{\theta}$ en el m.i.a. La posibilidad de que ocurra esto tiene que considerar el tipo de población objetivo:

1. Población aleatoria. Una población es aleatoria si sus elementos están ordenados al azar
2. Población ordenada. Una población está ordenada si sus elementos dentro de la población están ordenados de acuerdo a algún esquema
3. Población periódica. Una población es periódica si los elementos de la población tienen variación cíclica

Relaciones entre el m.s. y el m.i.a.

1. Los elementos de una muestra sistemática de una población aleatoria se espera que sean heterogéneos con $\rho \approx 0$. Por tanto, cuando N es grande $V(\bar{y}_{\text{sis}}) \approx V(\bar{y}_{\text{mia}})$ y, en este caso, el muestreo sistemático es equivalente al muestreo irrestricto aleatorio.

Ejemplo (Scheaffer *et al.* 1987, págs. 175-176)

Un investigador desea determinar la calidad del jarabe de arce contenido en la savia de los árboles de una finca. El número total de árboles es desconocido; por lo tanto, es imposible realizar un m.i.a. de árboles. Como un procedimiento alternativo, el investigador decide usar una muestra sistemática de 1 en 7. Si quisiera estimar m , el contenido de azúcar promedio de los árboles de arce en la finca, es razonable que él suponga que la población de árboles es aleatoria. Según esta suposición, la $V(\bar{y}_{\text{sis}})$ estimada estaría dada por la fórmula correspondiente

para el m.i.a.,
$$\hat{V}(\bar{y}_{\text{mia}}) = \frac{s^2}{n} \left(\frac{N-n}{N} \right)$$

2. Una muestra sistemática extraída de una población ordenada es generalmente heterogénea con $\rho \leq 0$. Puede demostrarse que para una población ordenada, $V(\bar{y}_{\text{mia}}) \leq V(\bar{y}_{\text{sis}})$.

Por tanto, una muestra aleatoria de una población ordenada proporciona más información que una m.i.a. por unidad de costo. Ya que no podemos obtener una estimación de m con base en los datos de la muestra, una estimación conservadora (una que es mayor que lo que se esperaría) de m está dada por:

$$\hat{V}(\bar{y}_{\text{mia}}) = \frac{s^2}{n} \left(\frac{N-n}{N} \right)$$

Ejemplo.

Si el marco del cual se extrae una muestra sistemática está listado de acuerdo al valor numérico ascendente de la variable de interés, entonces la población está ordenada.

3. Los elementos de una muestra sistemática extraída de una población periódica pueden ser homogéneos ($\rho > 0$). Cuando N es grande y $\rho > 0$,

$$V(\bar{y}_{\text{sist}}) > V(\bar{y}_{\text{mia}}).$$

Por tanto, en este caso, el muestreo sistemático proporciona menos información que el m.i.a. por unidad de costo. Como en las situaciones anteriores, $V(\bar{y}_{\text{sist}})$ no puede ser estimada directamente mediante una sola muestra sistemática. Podemos aproximar su valor usando $V(\bar{y}_{\text{mia}})$. En general, este estimador subestimará la varianza verdadera de \bar{y}_{sist} . Para evitar este problema que ocurre con el muestreo sistemático de una población periódica, el investigador podría cambiar varias veces el punto de inicio aleatorio. Este procedimiento reducirá la posibilidad de seleccionar observaciones con la misma posición relativa en una población periódica. Estos cambios del punto de inicio tendrán el efecto de mezclar los elementos de la población y al mismo tiempo el de seleccionar una muestra sistemática. Así, la muestra obtenida es equivalente a una muestra sistemática de una población aleatoria y, por tanto, la varianza de \bar{y}_{sist} puede ser entonces aproximada usando

$$\hat{V}(\bar{y}_{\text{mia}}) = \frac{s^2}{n} \left(\frac{N-n}{N} \right)$$

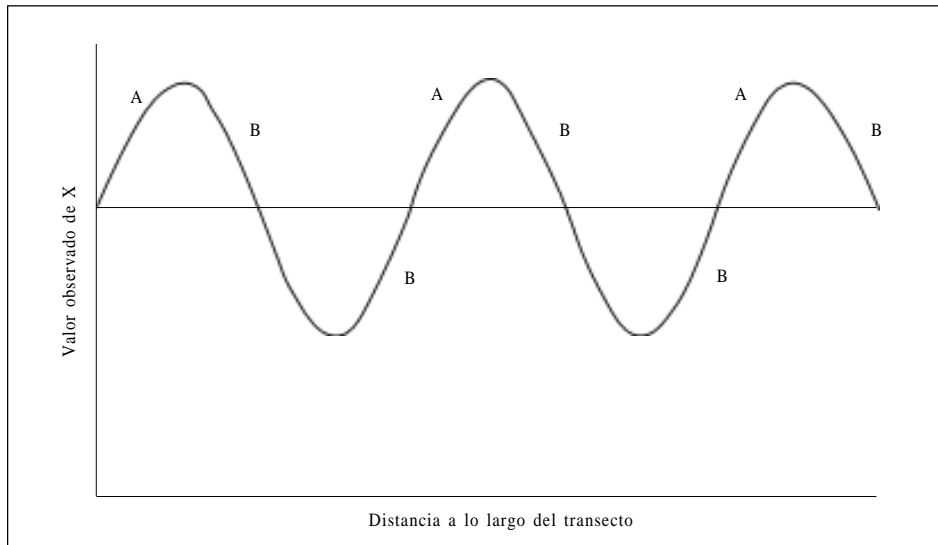
Ejemplo (Krebs, 1989, pág. 228).

La figura 2 ilustra un ejemplo hipotético en la cual una variable ambiental (por ejemplo, contenido de humedad del suelo) varía en una forma periódica, como una sinusoidal sobre el área de estudio. El efecto de usar muestreo sistemático para estimar la media de esta variable puede ser de muy diversa índole. Si no se muestreara en A, siempre se obtendría la misma medición y se obtendría una estimación altamente sesgada de la media. Si se tiene suerte y se muestreara en B, se obtendría la misma media y varianza como si se hubiera usado muestreo aleatorio. ¿Qué tan probable es que estos problemas como la variación periódica vista en los puntos de muestreo A ocurran en datos de campo reales? Milne (1959)

intentó responder esta pregunta observando muestras sistemáticas tomadas sobre poblaciones biológicas que habían sido enumeradas completamente (de manera que eran conocidas la media y la varianza verdaderas). Él analizó datos de 50 poblaciones y encontró que, en la práctica, no había un error introducido al suponer que una muestra sistemática céntrica era una muestra aleatoria simple, usando todas las fórmulas de la teoría de muestreo irrestricto aleatorio.

La variación periódica como la de la figura 2 no parece ocurrir en sistemas ecológicos. Más aun, la mayoría de los patrones ecológicos son altamente aglutinados e irregulares, de modo que la preocupación de los estadísticos acerca de influencias periódicas, parece ser una preocupación de más. La recomendación práctica es así: *se puede usar muestreo sistemático pero cuidar posibles tendencias periódicas*. Krebs termina la sección correspondiente al muestreo sistemático en ecología diciendo que, *si tienes para elegir entre tomar una muestra aleatoria o una muestra sistemática, escoge siempre un muestreo aleatorio*, debido a que siempre puede haber preocupación por la presencia de efectos periódicos que pueden influir en las estimaciones. Pero si el costo e inconveniencia de la aleatorización son demasiado grandes, puedes perder muy poco al muestrear de manera sistemática.

Figura 2



Variación periódica de una variable X en función de la distancia a lo largo de un transecto.

• **Observaciones**

Las consideraciones acerca de los tipos de población (aleatoria, ordenada y periódica) y la relación de los estimadores de la varianza de la media muestral para el muestreo sistemático y el m.i.a., también son válidas para cuando los estimadores de interés son un total, \hat{t}_{sist} y una proporción, P_{sist} .

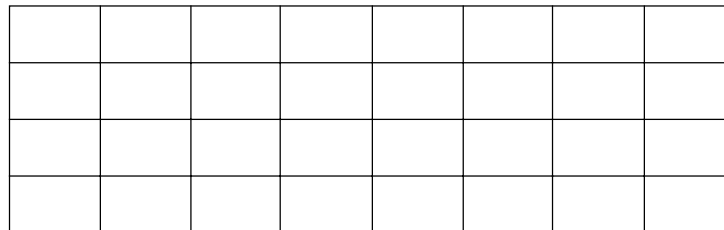
Si la estratificación de la población es ventajosa, el muestreo sistemático puede usarse dentro de cada estrato en lugar del m.i.a.

Como en ciertos casos el muestreo aleatorio sistemático no es equivalente al m.i.a., un método alternativo para estimar la varianza de un parámetro estimado, $\hat{\theta}_{sist}$, digamos, $\hat{V}(\hat{\theta}_{sist})$, es el *muestreo sistemático repetido*. Como el nombre lo indica, este método de muestreo requiere de la selección de más de una muestra sistemática. Los detalles de este método pueden encontrarse en Scheaffer *et al.* (1987), págs. 182-186.

Ejercicio. (Scheaffer *et al.* 1987, págs. 188-189).

6. Edafólogos quieren estimar la cantidad de calcio intercambiable (en ppm) en una parcela de terreno. Para simplificar el esquema de muestreo, en el terreno se sobrepone un malla rectangular. En cada punto de intersección en la malla se toman muestras de suelo (Figura 3). Determina la cantidad promedio de calcio intercambiable en la parcela de terreno. Establecer un límite para el error de estimación. Los datos son: $n = 45$. $\sum y_i = 90,320$ calcio intercambiable, $\sum y_i^2 = 148,03000$

Figura 3



Muestreo sistemático sobre una rejilla

Ejercicio (Scheaffer *et al.* 1987, págs. 190-191)

7. Los funcionarios de un museo están interesados en el número total de personas que visitan el lugar durante el periodo de 180 días en que una colección de antigüedades está en exhibición. Puesto que llevar el control diario de visitantes es muy costoso, los funcionarios deciden obtener estos datos cada décimo día. La información de esta muestra sistemática de 1- en -10 se resume en la tabla adjunta. Use estos datos para estimar τ , el número total de personas que visitan el museo durante el período específico. Establezca un límite para el error de estimación.

Cuadro 6

Día	Número de personas que visitaron el museo
3	160
13	350
23	225
⋮	⋮
173	290

$$\sum_{i=1}^{18} y_i = 4,868$$

$$\sum_{i=1}^{18} y_i^2 = 1,321,450$$

Número de visitantes a un museo

Ejercicio (Scheaffer *et al.* 1987, pág. 191)

8. Los funcionarios de cierta sociedad profesional desean determinar la proporción de miembros que apoyan varias enmiendas propuestas en las prácticas de arbitraje. Los funcionarios conducen una muestra sistemática de 1- en -10, a partir de una lista en orden alfabético de los $N = 650$ miembros registrados. Sea $y_i = 1$, si la i -ésima persona favorece los cambios propuestos y $y_i = 0$ si se opone a los cambios. Usar los siguientes datos de la muestra para estimar π , la proporción de miembros en favor de cambios propuestos. Establecer un límite para el error de estimación.

$$\sum_{i=1}^{65} y_i = 48$$

Muestreo por conglomerados. Procedimiento y estimaciones de medias, totales y proporciones

Diseño básico: *Muestreo por conglomerados (m.c.)*

Una *muestra por conglomerados* es una muestra aleatoria en la cual la unidad de muestreo es una colección o conglomerado de unidades experimentales últimas. Se recomienda su uso cuando no se encuentra disponible o es muy costoso obtener un buen marco para la población, mientras que se puede lograr fácilmente un marco que liste conglomerados. También es idóneo cuando el costo por obtener datos se incrementa con la distancia que separa las unidades experimentales últimas.

Generalmente, del muestreo aleatorio por conglomerados no puede esperarse que dé la misma precisión que una muestra aleatoria simple con el mismo número total de elementos, puesto que los elementos cercanos tienden a ser más similares que los elementos en general. Por tanto, una muestra conglomerada es equivalente a una muestra de unidades experimentales con un tamaño de muestra, en cierta forma, más pequeño. Sin embargo, los ahorros en los costos pueden hacer que una muestra por conglomerados sea considerablemente más grande que lo que pueda ser una muestra irrestricta aleatoria. De aquí que una muestra por conglomerados puede dar una mejor precisión que una muestra aleatoria simple por el mismo costo de muestreo.

Ejemplos.

1. Las manzanas de la ciudad son usadas frecuentemente como conglomerados de hogares o personas.
2. Un naranjo forma un conglomerado de naranjas para la investigación de infestación por insectos.
3. Una parcela en el bosque contiene un conglomerado de árboles para la estimación de volúmenes de madera o proporción de árboles enfermos.

- ¿Cómo seleccionar una muestra por conglomerados?

1. Especificar los conglomerados apropiados
Las unidades experimentales últimas tienden a presentar características similares dentro de un conglomerado, así que la medición de una unidad experimental última en un conglomerado puede estar altamente correlacionado con la de otra unidad experimental última. Por tanto, si se selecciona un conglomerado de gran tamaño, la cantidad de información al tomar todas las

medidas de cada unidad experimental última puede no incrementarse sustancialmente.

El problema de elegir el tamaño de conglomerado puede aun ser más complicado cuando se dispone de un número infinito de posibles tamaños de conglomerados, como en la selección de parcelas forestales para la estimación de la proporción de árboles enfermos. Si existe variabilidad en la densidad de árboles enfermos a lo largo y ancho del bosque, entonces muchos conglomerados pequeños localizados de manera aleatoria o sistemática, pueden ser lo deseable. Sin embargo, localizar aleatoriamente una parcela consume mucho tiempo y, una vez localizada, el muestreo de muchos árboles es económicamente inconveniente. Entonces muchas parcelas pequeñas son ventajosas para controlar la variabilidad, pero pocas parcelas grandes son económicamente recomendables. Se debe de encontrar un equilibrio entre el número y el tamaño de las parcelas. Aunque no hay reglas generales para tomar esta decisión, las encuestas piloto pueden ayudar al investigador a encontrar la dirección.

2. Conformar un marco que liste todos los conglomerados.
3. Seleccionar una muestra irrestricta aleatoria de este marco.
4. Los elementos o unidades experimentales últimas muestreadas serán todos los elementos de los conglomerados seleccionados.

NOTACIÓN EN EL MUESTREO POR CONGLOMERADOS (m.c.).

N = número de conglomerados (población); n = número de conglomerados (m.i.a.).

m_i = número de elementos en el conglomerado i , $i = 1, \dots, N$.

$\bar{m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i$ = tamaño promedio del conglomerado en la muestra.

$M = \sum_{i=1}^N m_i$ = número de unidades experimentales últimas en la población.

$\bar{M} = \frac{M}{N}$ = tamaño promedio de los conglomerados en la población.

y_i = total de todas las observaciones en el i -ésimo conglomerado.

Caja 10

$$\bar{y}_{mc} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

VARIANZA ESTIMADA DE \bar{y}_{mc} :
$$\hat{V}(\bar{y}_{mc}) = \left(\frac{N-n}{Nn\bar{M}^2} \right) \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_{mc} m_i)^2}{n-1}$$

LÍMITE PARA EL ERROR DE ESTIMACIÓN:

$$2\sqrt{\hat{V}(\bar{y}_{mc})} = 2\sqrt{\left(\frac{N-n}{Nn\bar{M}^2} \right) \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_{mc} m_i)^2}{n-1}}$$

Aquí \bar{M} puede ser estimada por \bar{m} si se desconoce M .

Estimación de la media poblacional m para el m.c.

Ejercicio (Scheaffer *et al.* 1987, págs. 226-227).

9. Un guardabosques desea estimar la altura promedio de los árboles de una plantación. La plantación se divide en parcelas de un cuarto de acre. Se selecciona una muestra irrestricta aleatoria de 20 parcelas de un total de 386 parcelas en la plantación. Se miden todos los árboles en las parcelas muestreadas, con los resultados que se muestran en el cuadro 9. Estime la altura promedio de los árboles en la plantación y establecer un límite para el error de estimación. (*Sugerencia*: el total para el conglomerado I se puede encontrar tomando m_i veces el promedio del conglomerado).

El ejercicio 13 se puede resolver mediante la estimación de un total poblacional (Caja 11). Nótese que el estimador $\hat{\tau} = M\bar{y}_{mc}$ es útil únicamente si se conoce el número de elementos M en la población.

Cuadro 9

No. de árboles	Altura promedio (pies)	No. de árboles	Altura promedio (pies)
42	6.2	60	6.3
51	5.8	52	6.7
49	6.7	61	5.9
55	4.9	49	6.1
47	5.2	57	6.0
58	6.9	63	4.9
43	4.3	45	5.3
59	5.2	46	6.7
48	5.7	62	6.1
41	6.1	58	7.0

Número de árboles y altura promedio de una plantación

Ejercicio (Scheaffer *et al.* 1987, pág. 228)

10. Un gran embarque de mariscos congelados es empaquetado en cajas, conteniendo cada una veinticuatro paquetes de 5 libras. Hay cien cajas en el embarque. Un inspector del gobierno determina el peso total (en libras) de mariscos dañados para cada una de cinco cajas muestreadas. Los datos son como sigue: 9, 6, 3, 10, 2. Estimar el peso total de mariscos dañados en el embarque y establecer un límite para el error de estimación.

Caja 11

$$\hat{\tau} = M\bar{y}_{mc} = M \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

VARIANZA ESTIMADA DE $\hat{\tau} = M\bar{y}_{mc}$:

$$\hat{V}(M\bar{y}_{mc}) = M^2 \hat{V}(\bar{y}_{mc}) = N^2 \left(\frac{N-n}{Nn} \right) \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_{mc} m_i)^2}{n-1}$$

LÍMITE PARA EL ERROR DE ESTIMACIÓN:

$$2\sqrt{\hat{V}(N\bar{y}_i)} = 2\sqrt{N^2 \left(\frac{N-n}{Nn} \right) \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2}{n-1}}$$

Estimación de un total poblacional τ en el m.c. ($\tau = Mm$).

Cuando M se desconoce, se tendrá que usar otro estimador de τ :

Caja 12

$\hat{\tau} = N\bar{y}_t$, donde $\bar{y}_t = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$ es el promedio de los totales de conglomerados para los n conglomerados muestrados

VARIANZA ESTIMADA DE $\hat{\tau} = N\bar{y}_t$:

$$\hat{V}(N\bar{y}_t) = N^2\hat{V}(\bar{y}_t) = N^2\left(\frac{N-n}{Nn}\right)\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_t)^2}{n-1}$$

LÍMITE PARA EL ERROR DE ESTIMACIÓN:

$$2\sqrt{\hat{V}(N\bar{y}_t)} = 2\sqrt{N^2\left(\frac{N-n}{Nn}\right)\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_t)^2}{n-1}}$$

Estimador de τ en el m.c. cuando M se desconoce

$\hat{V}(\bar{y}_{mc})$ es un buen estimador de $\hat{V}(\bar{y}_{mc})$ si n fuera grande ($n \cdot 20$). El sesgo desaparece si $m_1 = m_2 = \dots = m_N$. En el caso de τ , el estimador $N\bar{y}_t$ puede ser menos preciso que $M\bar{y}_{mc}$ pues no usa la información de los tamaños de conglomerados m_1, m_2, \dots, m_n . Pero si $m_1 = m_2 = \dots = m_N$, los dos estimadores son equivalentes.

Ejercicio (Scheaffer *et al.* 1987, pág. 226).

- Los comercios solicitan frecuentemente a los contadores la realización de inventarios. Ya que un inventario completo es costoso, a través del muestreo se pueden realizar inventarios cada cuatro meses. Supóngase que una empresa abastecedora de artículos de plomería desea un inventario para muchos artículos pequeños en existencia. La obtención de una muestra aleatoria de artículos es muy difícil. Sin embargo, los artículos se encuentran dispuestos en anaqueles, y las selección de una muestra aleatoria de anaqueles es relativamente facil, considerando a cada anaquel como un conglomerado de artículos. Una muestra de 10 anaqueles de un total de 48 dio los resultados que se muestran en la tabla siguiente. Estimar la cantidad de dólares de los artículos en los anaqueles y establecer un límite para el error de estimación.

Cuadro 10

Conglomerado	Número de artículos, m_i	Cantidad real de dólares, y_i
1	42	83
2	27	62
3	38	45
4	63	112
5	72	96
6	12	58
7	24	75
8	14	58
9	32	67
10	41	80

Número de artículos y su cantidad en dólares

Caja 13

Sea a_i = número total de elementos en el conglomerado i que poseen la característica de interés. Entonces:

$$\hat{\pi}_{mc} = p_{mc} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

VARIANZA ESTIMADA DE $\hat{\pi}_{mc} = p_{mc}$:
$$\hat{V}(p_{mc}) = \left(\frac{N-n}{Nn\bar{M}^2} \right) \frac{\sum_{i=1}^n (a_i - p_{mc}m_i)^2}{n-1}$$

LÍMITE PARA EL ERROR DE ESTIMACIÓN:

$$2\sqrt{\hat{V}(p_{mc})} = 2\sqrt{\left(\frac{N-n}{Nn\bar{M}^2} \right) \frac{\sum_{i=1}^n (a_i - p_{mc}m_i)^2}{n-1}}$$

Estimación de una proporción poblacional p para el mc.

La fórmula de $\hat{V}(p_{mc})$ es un buen estimador de p únicamente cuando n es grande ($n \cdot 20$). Si $m_1 = m_2 = \dots = m_N$, entonces p es un estimador insesgado de p , y la $\hat{V}(p_{mc})$ expresada en el cuadro de arriba es un estimador insesgado de la varianza real de p , para cualquier tamaño de muestra.

12. Una empresa está considerando la revisión de su política de jubilación y quiere estimar la proporción de empleados que apoyan la nueva política. La industria consiste de 87 plantas separadas localizadas en todo el país. Ya que los resultados deben ser obtenidos rápidamente y con poco dinero, la industria deci-

de usar muestreo por conglomerados, con cada planta como un conglomerado. Se selecciona una muestra irrestricta aleatoria de 15 plantas y se obtienen las opiniones de los empleados en estas plantas a través de un cuestionario. Los resultados se presentan en el cuadro 11. Estimar la proporción de empleados de la industria que apoyan la nueva política de jubilación y establecer un límite para el error de estimación.

Ejercicio (Scheaffer *et al.* 1987)

Cuadro 11

Planta	Número de empleados	Número de empleados que apoyan la nueva política	Planta	Número de empleados	Número de empleados que apoyan la nueva política
1	51	42	9	73	54
2	62	53	10	61	45
3	49	40	11	58	51
4	73	45	12	52	29
5	101	63	13	65	46
6	48	31	14	49	37
7	65	38	15	55	42
8	49	30			

Muestra de empleados de diferentes plantas de una empresa a favor de una nueva política.

Comentarios finales acerca del muestreo de conglomerados

1. El muestreo de conglomerados puede ser combinado con el muestreo estratificado, con objeto de que la población quede dividida en L estratos y se pueda seleccionar una muestra por conglomerados en cada estrato. Ver Scheaffer *et al.* (1987) páginas 215-216.
2. El muestreo sistemático puede interpretarse como un muestreo por conglomerados en donde el tamaño de cada conglomerado es $m_i = 1$, para cada $i = 1, 2, \dots, n$.

Consideraciones generales acerca de otros diseños de muestreo de poblaciones finitas. Muestreos de encuentro y muestreo secuencial

Dentro de la teoría de poblaciones finitas, hemos omitido presentar algunos métodos de estimación de parámetros basados en diferentes diseños de muestreo. Esto no implica que no sean importantes, pero por el espacio dedicado en esta

primera unidad al t3pico del dise1o estad3stico de muestreo por encuesta, se decidi3 limitarse a las t3cnicas b3sicas.

Estimaciones de raz3n, regresi3n y diferencia combinadas con los dise1os de muestreo b3sicos

De los m3todos no vistos, tres de ellos hacen uso de una variable auxiliar, x , para realizar la estimaci3n de par3metros respecto a una variable de respuesta y , sobre la misma unidad muestral. Estos m3todos son: estimaci3n de raz3n, de regresi3n y de diferencia. Lo importante de estas t3cnicas es que diversos dise1os de muestreo pueden ser empleados en uni3n con la estimaci3n. En Scheaffer *et al.* (1987) y en Cochran (1976), entre otros, se explica con detalle la conjugaci3n de estos m3todos de estimaci3n con el muestreo irrestricto aleatorio y con el muestreo aleatorio estratificado.

Muestreo por conglomerados en dos etapas y poliet3pico

Estos m3todos son modificaciones del muestreo por conglomerados o 3reas. En el muestreo en dos etapas o biet3pico no todos los elementos o unidades de los conglomerados forman parte de la muestra, sino que, una vez seleccionados 3stos, se efect3a una nueva selecci3n o submuestreo dentro de cada uno. La generalizaci3n del muestreo por conglomerados biet3pico es el poliet3pico, en donde los conglomerados seleccionados en la primera etapa pueden estar constituidos por nuevos conglomerados incluidos en ellos, de modo que pueda procederse a un submuestreo de unidades de conglomerados dentro de conglomerados y as3 sucesivamente, en varias etapas (Azor3n Poch, 1972).

Submuestras interpenetrantes

Este m3todo consiste en la divisi3n aleatoria de una muestra, generalmente tambi3n aleatoria, en un cierto n3mero de grupos del mismo n3mero de unidades. Se emplea para medir la concordancia entre los resultados de muestras sucesivas, en la obtenci3n r3pida de resultados provisionales y en la comparaci3n de resultados obtenidos por diferentes entrevistadores (Azor3n Poch, 1972).

Muestreos de encuentro

Las secciones anteriores se refirieron a lo que puede describirse como la teoría clásica de muestreo de poblaciones finitas. Estos problemas cubren mucho de los problemas de muestreo que son probables que surjan en una investigación, pero hay situaciones en donde se requieren enfoques diferentes. En particular, algunas veces surgen casos en donde no es posible decidir de manera previa dónde y cuándo se muestrearán los elementos de la población. En lugar de un esquema de muestreo, debe vislumbrarse qué permite a los elementos ser encontrados con una cierta probabilidad. El análisis de los datos debe tomar en cuenta la naturaleza de este esquema de muestreo. Como se verá frecuentemente en este curso, varios de los métodos de muestreo de organismos pueden considerarse métodos de muestreo de encuentro. Sin embargo, desde una perspectiva biológica o ecológica, es difícil evaluar la probabilidad de encuentro de un determinado organismo o elemento de interés. A continuación damos una lista de diseños de muestreo que son útiles en el estudio de procesos biológicos o ecológicos, mismos que serían tratados en las secciones correspondientes al muestreo de organismos en este curso. Aquel lector que lo desee puede acudir a los libros de Krebs (1988), Manly (1992) y Thompson (1992), en donde se abordan estos métodos de forma breve y sin demasiado formalismo.

- Muestreo de marcaje-recaptura
- Muestreo de remoción
- Muestreo en transectos (en cualquiera de sus versiones particulares: muestreo de intercepto de línea, de transecto en banda y de transecto en línea)
- Muestreo con sesgo en el tamaño
- Muestreo de posiciones de objetos en el espacio (patrones espaciales) en sus versiones particulares: métodos basados en distancias, métodos basados en cuadrantes
- Muestreo adaptativo.
- Muestreo de conjunto ordenado.

Muestreo secuencial

En el libro de Krebs (1989), en el capítulo 7, y en el libro de Azorín Poch (1972), en los capítulos 23 y 24, se trata con detalle otro método de muestreo conocido como muestreo secuencial, cuya cualidad más importante es que los tamaños de las muestras no se establecen a priori. En lugar de ello, se hacen observaciones o

mediciones, una en cada tiempo, y después de que se haga cada observación “se pregunta” a los datos acumulados si puede alcanzarse o no una conclusión. Así, el tamaño de muestra es minimizado, y en algunos casos solamente la mitad del número de observaciones requeridas con el muestreo clásico es necesario con el muestreo secuencial.

Muestreo de poblaciones finitas II (selección del tamaño de muestra)

Enfoque general en el diseño de encuestas por muestreo

El número de observaciones necesarias para estimar un parámetro θ requerirá que se establezca un límite para el error de estimación igual a B e igual también a $2\sqrt{V(\hat{\theta})}$. Como habitualmente $V(\hat{\theta})$ contiene en su expresión al tamaño de la muestra, ésta se puede hallar resolviendo para n :

$$2\sqrt{V(\hat{\theta})} = B$$

Por tanto, en las sub-secciones siguientes se encontrarán las fórmulas de los tamaños de muestra requeridos para estimar el parámetro indicado con un límite para el error de estimación de B ; las fórmulas variarán según el parámetro-objetivo y según el diseño de muestreo.

Selección del tamaño de muestra para estimar medias, totales y proporciones poblacionales en el m.i.a.

Ejercicio (Scheaffer *et al.* 1987, pág. 69)

13. Un psicólogo desea estimar el tiempo de reacción promedio para un estímulo entre 200 pacientes de un hospital especializado en trastornos nerviosos. ¿De qué tamaño debe ser la muestra irrestricta aleatoria que debe tomar para estimar m con un límite para el error de estimación de 1 segundo? Use 1.0 segundos como una aproximación de la desviación estándar poblacional.

Ejercicio (Scheaffer *et al.* 1987, pág. 70)

14. Usando los resultados de la encuesta descrita en el Ejercicio 2, determine el tamaño de muestra requerido para estimar t , el número total de árboles en plantación, con un límite para el error de estimación de magnitud $B = 1500$.

Caja 14

$$\mu: n = \frac{N\sigma^2}{(N-1)D + \sigma^2}, \text{ donde } D = \frac{B}{4N^2}$$

Nota: s^2 puede aproximarse con s^2 , a partir de una muestra piloto, o un estudio previo similar, o bien $\sigma^2 = \frac{\text{Rango}}{4}$. Entonces, en cualquiera de estos casos n será un valor aproximado.

$$\tau: n = \frac{N\sigma^2}{(N-1)D + \sigma^2}, \text{ donde}$$

$$\pi: n = \frac{N\pi(1-\pi)}{(N-1)D + \pi(1-\pi)}, \text{ donde}$$

Nota: π puede aproximarse con p (y, así, $(1-\pi)$ se estima con $q = 1-p$; ver sección 1.1.2) a partir de una muestra piloto, o un estudio previo similar, o bien, en el peor de los casos $p=0.5$ (n será conservador en este caso). Entonces, en cualquiera de estas situaciones n será un valor aproximado. En todas estas fórmulas, se requiere conocer N , el tamaño de la población.

Selección del tamaño de muestra para estimar medidas totales y proporciones poblacionales en el m.i.a.

Ejercicio (Scheaffer *et al.* 1987, pág. 69)

15. Usando los datos del Ejercicio 3, determine el tamaño de muestra que el Departamento debe obtener para estimar la proporción de cazadores con permiso que buscan aves de caza. Establezca un límite para el error de estimación de magnitud $B = 0.02$.

Selección del tamaño de muestra para estimar medias, totales y proporciones poblacionales en el m.a.e. Asignación de la muestra

Para el caso de la selección de n en el m.a.e. para estimar m o t o p , se presenta un problema al querer despejar n_i (el tamaño de la muestra para cada estrato) en la expresión

$$V(\hat{\theta}_{st}) = \frac{B^2}{4} \text{ para el caso en que } \hat{\theta}_{st} = \bar{y} \text{ o } \hat{\theta}_{st} = p, \text{ o}$$

$$V(\hat{\theta}_{st}) = \frac{B^2}{4N^2} \text{ para el caso de } \hat{\theta}_{st} = \hat{\tau}.$$

Una solución es asignar una proporción del tamaño de muestra, w_i , en cada estrato i . Esta fracción entonces nos lleva a que $n_i = nw_i$, $i = 1, 2, \dots, L$. Luego, ya es posible despejar n de las dos expresiones anteriores y, al mismo tiempo, conocer n_i , los tamaños de muestra para cada estrato. Nótese que es necesario asignar previamente las fracciones w_i para cada estrato. Ejercicio (Scheaffer *et al.* 1987, págs. 87 y 88)

Caja 15

$$n = \frac{\sum_{i=1}^L N_i^2 \sigma_i^2 / w_i}{N^2 D + \sum_{i=1}^L N_i \sigma_i^2}$$

donde w_i es la fracción de las observaciones asignadas al estrato i , σ_i^2 es la varianza poblacional para el estrato i , cuyo valor se puede aproximar como se indica en la Caja

14, y $D = \frac{B^2}{4}$ para estimar μ ; $D = \frac{B^2}{4N^2}$ para estimar τ .

Tamaño de muestra aproximado que se requiere para estimar m o t con un límite para el error de estimación en el m.a.e.

16. Una empresa publicitaria está interesada en determinar qué tanto debe enfatizar la publicidad televisiva en un determinado municipio, y decide realizar una encuesta por muestreo para estimar el número promedio de horas por semana que se ve televisión en los hogares del municipio. Éste comprende dos pueblos, pueblo A y pueblo B, y un área rural. El pueblo A circunda una fábrica, y la mayoría de los hogares son de trabajadores fabriles con niños en edad escolar. El pueblo B es un suburbio exclusivo de una ciudad vecina y consta de habitantes más viejos con pocos niños en casa. Existen 155 hogares en el pueblo A, 62 en el pueblo B y 93 en el área rural. Una encuesta anterior sugiere que las varianzas del número de horas por semana que las familias del municipio dedican a ver televisión por estrato son, aproximadamente, $\sigma_1^2 = 25$, $\sigma_2^2 = 225$, $\sigma_3^2 = 100$. Deseamos estimar la

media poblacional mediante \bar{y}_{est} . Seleccione el tamaño de muestra para obtener un límite en el error de estimación igual a 2 hrs, si las fracciones asignadas son $w_1 = \frac{1}{3}$, $w_2 = \frac{1}{3}$ y $w_3 = \frac{1}{3}$. En otras palabras, se debe tomar un número igual de observaciones de cada estrato.

Ejercicio (Scheaffer *et al.* 1987, pág. 88)

17. Con relación al Ejercicio 19., supóngase que las varianzas son aproximadas por $\sigma_1^2 = 25$, $\sigma_2^2 = 225$, $\sigma_3^2 = 100$. Deseamos ahora estimar el total poblacional τ con un límite de 400 horas para el error de estimación. Seleccione el tamaño de muestra apropiado, si se va a tomar el mismo número de observaciones en cada estrato.

Caja 16

$$n = \frac{\sum_{i=1}^L N_i^2 \pi_i (1 - \pi_i) / w_i}{N^2 D + \sum_{i=1}^L N_i \pi_i (1 - \pi_i)}$$

donde w_i es la fracción de las observaciones asignadas al estrato i , π_i es la proporción poblacional para el estrato i , cuyo valor se puede aproximar como se indicó en la sección 2.2.1. y $D = \frac{B^2}{4}$. Nota: Como es casi seguro que la proporción poblacional de cada estrato i , π_i , sea desconocida, en las fórmula anterior se cambiarían los términos p_i y $(1-p_i)$ por sus correspondientes estimaciones π_i y $q_i=1-\pi_i$, respectivamente. Este origina que la estimación del tamaño de muestra sea aproximada.

Tamaño de muestra aproximado que requiere para estimar p con un límite para el error de estimación en el m.a.e.

Asignación de la muestra

Después de elegir el tamaño de muestra n , existen muchas maneras para dividir entre los tamaños de muestra de los estratos individuales n_1, n_2, \dots, n_L . Cada división puede originar una varianza diferente para la media muestral. Por lo que el objetivo será usar una asignación de modo que se tengan estimadores con varianzas pequeñas al menor costo posible.

En términos del objetivo, el mejor esquema de asignación está influido por tres factores.

1. El número total de elementos en cada estrato
2. La variabilidad de las observaciones dentro de cada estrato
3. El costo por obtener una observación de cada estrato

Veamos cómo se hace la asignación según estos criterios

Caja 17

$$n_i = n \left(\frac{N_i \sigma_i / \sqrt{c_i}}{N_1 \sigma_1 / \sqrt{c_1} + N_2 \sigma_2 / \sqrt{c_2} + \dots + N_L \sigma_L / \sqrt{c_L}} \right)$$

$$= n \left(\frac{N_i \sigma_i / \sqrt{c_i}}{\sum_{k=1}^L N_k \sigma_k / \sqrt{c_k}} \right)$$

Aquí c_i = costo por obtener una observación individual en el i -ésimo estrato. Para poder usar la fórmula, se debe obtener previamente a la realización del muestreo, una aproximación de la varianza de cada estrato. Las aproximaciones pueden ser obtenidas de estudios anteriores o conociendo la amplitud de variación de las mediciones de cada estrato.

Para la asignación óptima con la varianza de \bar{y}_{est} fija en D , nos da el tamaño de la

muestra n , sustituyendo: $w_i = n_i/n$:
$$n = \frac{\left(\sum_{k=1}^L N_k \sigma_k \quad c_k \right) \left(\sum_{i=1}^L N_i \sigma_i \quad c_i \right)}{N^2 D + \sum_{i=1}^L N_i \sigma_i^2}$$

Asignación aproximada que minimiza el costo para el valor fijo de $V(\bar{y}_{est})$ o que minimiza $V(\bar{y}_{est})$ para un costo fijo (Asignación óptima para estimar m y t).

- Para aplicar las fórmulas anteriores se deben conocer, entonces, los costos c_i , $i = 1, 2, \dots, L$, y las desviaciones estándar aproximadas σ_i , $i = 1, 2, \dots, L$.
- Primero se evalúa la expresión para n , después se estiman los n_i 's que tendrán a n como incógnita, y por último se sustituye n en estas expresiones para n_i .

Ejercicio (Scheaffer *et al.* 1987, pág. 114)

18. Una corporación desea obtener información acerca de la efectividad de una máquina comercial. Se va a entrevistar por teléfono a un número de jefes de división, para pedirles que califiquen la maquinaria con base en una escala

numérica. Las divisiones están localizadas en Norteamérica, Europa y Asia. Es por eso que se usa muestreo estratificado. Los costos son mayores para las entrevistas de los jefes de división localizados fuera de Norteamérica. El cuadro 12 proporciona los costos por entrevista, varianzas aproximadas de las calificaciones, y los N_i que se han establecido. La corporación quiere estimar la calificación promedio con $V(\bar{y}_{est}) = 0.1$. Elegir el tamaño de muestra n que obtiene este límite y encontrar la asignación apropiada.

Cuadro 12

Estrato I (Norteamérica)	Estrato II (Europa)	Estrato III (Asia)
$c_1 = \$9$	$c_2 = \$25$	$c_3 = \$36$
$\sigma_1^2 = 2.25$	$\sigma_2^2 = 3.24$	$\sigma_3^2 = 3.24$
$N_1 = 112$	$N_2 = 68$	$N_3 = 39$

Varianzas de las calificaciones de maquinaria para tres divisiones (estratos) de una corporación y costos de entrevista por estrato.

Caja 18

Si el costo por obtener información es el mismo para todos los estratos o si los costos son desconocidos, entonces $c_1 = c_2 = \dots = c_L$. Esto trae como consecuencia que los términos de costo se cancelan en las dos ecuaciones de arriba y:

$$n_i = n \left(\frac{N_i \sigma_i}{\sum_{i=1}^L N_i \sigma_i} \right)$$

Este método de seleccionar n_1, n_2, \dots, n_L se denomina *asignación de Neyman*. En la asignación de Neyman, el tamaño de muestra total es:

$$n = \frac{\left(\sum_{i=1}^L N_i \sigma_i \right)^2}{N^2 D + \sum_{i=1}^L N_i \sigma_i^2}$$

Asignación de Neyman para estimar μ y τ

Ejercicio (Scheaffer *et al.* 1987, pág. 115)

19. El estudio del ejercicio 5 se va a hacer anualmente, con el límite para el error de estimación de 5000 acres. Encuentre un tamaño de muestra aproximado para obtener este límite si se usa la asignación de Neyman. Use los datos del Ejercicio 5.

El ejercicio 23 ilustra la aplicación de la asignación del tamaño de muestra a estratos, suponiendo que tanto los costos por estrato como las varianzas por estrato son iguales. Esto da lugar a la asignación proporcional del tamaño de muestra, cuyas fórmulas se presentan en la Caja 19.

Ejercicio (Scheaffer *et al.* 1987, pág. 115)

20. Utilizando los datos del Ejercicio 4, encuentre el tamaño de muestra requerido para estimar la calificación promedio, con un límite de 4 puntos para el error de estimación. Use asignación proporcional.

Caja 19

Si además de suponer $c_1 = c_2 = \dots = c_L$ también $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_L^2$, entonces las ecuaciones para las n_i 's presentadas en la Caja 18, quedan así:

$$n_i = n \left(\frac{N_i}{\sum_{i=1}^L N_i} \right) = n \left(\frac{N_i}{N} \right)$$

Este método de asignación de la muestra a los estratos se llama *asignación proporcional* porque los tamaños de muestra n_1, n_2, \dots, n_L son proporcionales a los tamaños de los estratos N_1, N_2, \dots, N_L . En la asignación proporcional, el valor de n que produce $V(\bar{y}_{est}) = D$, se convierte en:

$$n = \frac{\sum_{i=1}^L N_i \sigma_i^2}{ND + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^L N_i \sigma_i^2}$$

Esta última fórmula, aparte de ser válida cuando se quiere estimar μ con $D = \frac{B^2}{4}$, se

usaría cuando interesa estimar τ , pero con el valor de $D = \frac{B^2}{4N^2}$.

Asignación proporcional par estimar μ y τ

La fórmula correspondiente para n cuando interesa estimar π en la asignación proporcional, se presentará en una de la siguiente serie de fórmulas para asignar el tamaño de muestra en cada estrato, para estimar π .

NOTA. Como es casi seguro que la proporción poblacional de cada estrato i , π_i , sea desconocida, en las fórmulas siguientes se han cambiado los términos π_i y $(1-\pi_i)$ por sus correspondientes estimaciones p_i y $q_i=1-p_i$, respectivamente. Este origina que la estimación del tamaño de muestra sea aproximado.

Caja 20

$$n_i = n \left(\frac{N_i \sqrt{p_i q_i / c_i}}{N_1 \sqrt{p_1 q_1 / c_1} + N_2 \sqrt{p_2 q_2 / c_2} + \dots + N_L \sqrt{p_L q_L / c_L}} \right)$$

$$= n \left(\frac{N_i \sqrt{p_i q_i / c_i}}{\sum_{k=1}^L N_k \sqrt{p_k q_k / c_k}} \right)$$

$$\text{donde } n = \frac{\left(\sum_{k=1}^L N_k \sqrt{p_k q_k / c_k} \right) \left(\sum_{i=1}^L N_i \sqrt{p_i q_i / c_i} \right)}{N^2 D + \sum_{i=1}^L N_i p_i q_i}$$

Asignación aproximada que minimiza el costo para un valor fijo de $V(p_{est})$ o minimiza $V(p_{est})$ para un costo fijo. (Asignación óptima para estimar π)

Ejercicio (Scheaffer *et al.* 1987, págs. 115-116)

21. Con relación al Ejercicio 6 acerca de la encuesta por muestreo que realiza un ayuntamiento municipal para estimar la proporción de familias con niños discapacitados que utilizarán ciertas instalaciones ampliadas, supóngase que se van a formar cuatro estratos como se indicó en ese Ejercicio, y que aproximadamente el 90% de los que usan las instalaciones y 50% de los que no las usan van a utilizar las nuevas instalaciones. Los costos por efectuar la observación de un cliente actual es de \$4.00 y de \$8.00 para uno que no lo es. La diferencia en el costo resulta de la dificultad para localizar a quienes no usan las instalaciones. Registros existentes nos dan $N_1=97$, $N_2=43$, $N_3=145$, $N_4=68$ (como en el Ejercicio 6). Encuentre el tamaño de muestra aproximado y la asignación necesaria para estimar la proporción poblacional con un límite de 0.05 para el error de estimación.

Caja 21

Cuando el costo por obtener información es el mismo para todos los estratos o los costos son desconocidos, entonces $c_1 = c_2 = \dots = c_L$. En este caso, la asignación de Neyman es:

$$n_i = n \left(\frac{N_i \sqrt{p_i q_i}}{\sum_{k=1}^L N_k \sqrt{p_k q_k}} \right)$$

donde

$$n = \frac{\left(\sum_{i=1}^L N_i \sqrt{p_i q_i} \right)^2}{N^2 D + \sum_{i=1}^L N_i p_i q_i}$$

Asignación de Neyman para estimar π

22. Repita el Ejercicio 24, ahora usando la asignación de Neyman (i.e. costos iguales). Compare los resultados con la respuesta del Ejercicio 24.

Caja 22

Como se recordará, en la asignación proporcional, el tamaño de la muestra en cada estrato i está dado por:

$$n_i = n \left(\frac{N_i}{N} \right)$$

En el caso del tamaño de la muestra n para estimar p , se tiene:

$$n = \frac{\sum_{i=1}^L N_i p_i q_i}{ND + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^L N_i p_i q_i}$$

Asignación proporcional para estimar p

Ejercicio

26. Ahora repita el ejercicio 24 usando asignación proporcional. Compare los resultados con los de los Ejercicios 24 y 25.

Selección del tamaño de muestra para estimar medias, totales y proporciones poblacionales en el m.s.

El tamaño de muestra requerido se encuentra despejando n de la ecuación:

$$2\sqrt{V(\hat{\theta}_{ms})} = B$$

para cualquiera de los estimadores $\hat{\theta}_{ms}$ de una media, un total o una proporción, basados en un muestreo sistemático. La solución para esta ecuación involucra, en general al parámetro ρ y, o bien a σ_{ms}^2 , o a π_{ms} . En estas notas, en lugar de usar estimaciones específicas de estos parámetros, usamos la fórmula para n de un muestreo irrestricto aleatorio. La señal de alerta se daría en el caso de poblaciones ordenadas (la muestra podría ser extragrande) o de poblaciones periódicas (la muestra podría ser muy pequeña). Por tanto, la validez de las fórmulas para n , como si se supusiera un muestreo irrestricto aleatorio, solamente se presentará si se muestrean sistemáticamente poblaciones aleatorias. En este caso, remitimos al lector a las fórmulas que aparecen en la sección 2.1.2., Cajas 1, 2 y 3.

Ejercicio (Scheaffer *et al.* 1987, pág. 189)

27. La patrulla de caminos está interesada en la proporción de automovilistas que portan licencias. En una carretera principal se detuvo a cada séptimo conductor. En una verificación similar con 400 automovilistas, se encontró que el 81% portaban licencia. La patrulla de caminos espera que pasen cuando menos $N = 3000$ automóviles por el puesto de verificación. Determinar el tamaño de muestra para estimar p con aproximación de $B = 0.015$ unidades.

Selección del tamaño de muestra para estimar medias, totales y proporciones poblacionales en el m.c.

La cantidad de información en una muestra por conglomerados es afectada por dos factores, el número y el tamaño relativo de los conglomerados. No se ha presentado el último factor en ninguno de los procedimientos de muestreo ya analizados. El tamaño del límite para el error de estimación depende crucialmente de la variación entre los *totales* de los conglomerados. Entonces, al intentar obtener límites pequeños para el error de estimación, debemos seleccionar conglomerados con la menor variación posible entre estos totales. Suponer que el tamaño del conglomerado (unidad de muestreo) ha sido elegido y se va a considerar únicamente el problema de seleccionar el número de conglomerados, n .

Caja 23

$$n = \frac{N\sigma_{mc}^2}{ND + \sigma_{mc}^2}$$

donde σ_{ms}^2 se estima con $s_{mc}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_{mc} m_i)^2}{n-1}$. Esta estimación estaría disponible con una encuesta previa, o bien seleccionado una muestra preliminar de n' elementos. Algo similar podría hacerse para estimar, el tamaño medio del conglomerado. Así, las estimaciones de σ_{ms}^2 y pueden calcularse de la muestra preliminar y utilizarse para obtener un tamaño de muestra total aproximado, n , dado por la fórmula de arriba. Aquí. $D = \frac{B^2 \bar{M}^2}{4}$

Tamaño de muestra aproximado para estimar m con un límite B para el error de estimación

Se obtienen resultados similares cuando se usa $M\bar{y}_{mc}$ para estimar τ .

Caja 24

$$n = \frac{N\sigma_{mc}^2}{ND + \sigma_{mc}^2}$$

donde σ_{mc}^2 se estima con $s_{mc}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_{mc} m_i)^2}{n-1}$. σ_{mc}^2 se estimaría con una encuesta previa, o bien seleccionado una muestra preliminar de n' elementos. Entonces, la estimación puede utilizarse para obtener un tamaño de muestra total aproximado, n , dado por la fórmula de arriba. Aquí se supone $D = \frac{B^2}{4N^2}$.

Tamaño de muestra aproximado para estimar τ , usando $M\bar{y}_{mc}$, con un límite B para el error de estimación, M conocida

Cuando M es desconocido, se usa el estimador $N\bar{y}_i$ para τ (ver sección 3.1.6). En este caso, se puede despejar n de la ecuación $2\sqrt{V(N\bar{y}_i)} = B$, en donde $V(N\bar{y}_i) = N^2V(\bar{y}_i) = N^2((N - n/N)\sigma_i^2)$. Aquí σ_i^2 es la varianza poblacional de los totales de conglomerados, y_i , la cual se estima con:

$$s_1^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_t)^2}{n-1}$$

Caja 25

$$n = \frac{N\sigma_t^2}{ND + \sigma_t^2}$$

donde σ_t^2 se estima con s_1^2 , y $D = \frac{B^2}{4N^2}$

Tamaño de muestra aproximado para estimar τ , usando con un límite B para el error de estimación

De manera análoga a como se deduce la fórmula para n requerida para estimar m , se obtendría la fórmula correspondiente cuando se desea estimar p .

Caja 26

$$n = \frac{N\sigma_{mc}^2}{ND + \sigma_{mc}^2}$$

donde $D = \frac{B^2 \bar{M}^2}{4}$, y σ_{mc}^2 se estima por $s_{mc}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i - p_{mc} m_i)^2}{n-1}$ (sección 1.1.5).

Tamaño de muestra aproximado para estimar π con un límite B para el error de estimación

Ejercicio (Scheaffer *et al.* 1987, pág. 189)

28. La industria del Ejercicio 15 modificó su política de jubilación después de obtener los resultados de la encuesta. Ahora se quiere estimar la proporción de empleados a favor de la política modificada. ¿Cuántas plantas deben ser muestreadas para tener un límite de 0.08 para el error de estimación? Use los datos del Ejercicio 15 para aproximar los resultados de la nueva encuesta.

Referencias

- Azorín Poch, F. (1972) *Curso de Muestreo y Aplicaciones*. Aguilar, Madrid.
- Cochran, W.G. (1976) *Técnicas de Muestreo*. CECSA, México.
- Iachan, R. (1985) Optimum strata boundaries for shellfish surveys. *Biometrics* 41: 1053–1062.
- Krebs, C. (1989) *Ecological Methodology*. Harper Collins Publishers, New York.
- Manly, B.F.J. (1992) *The Design and Analysis of Research Studies*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Milne, A. (1959) The centric systematic area-sample treated as a random sample. *Biometrics* 15: 270-297.
- Scheaffer, R. L., W. Mendenhall y L. Ott (1987) *Elementary Survey Sampling*. Duxbury, Belmont.
- Thompson, S. (1992) *Sampling*. Wiley, Nueva York.

II. EL AMBIENTE

Se incluyen los lineamientos del muestreo de recursos no renovables (suelo y agua) con los que los manejadores de recursos han de contender, y de otras herramientas ambientales, como el clima o monolitos de suelo, con que cuentan como elemento de juicio.

La importancia del suelo a nivel mundial ha sido recientemente revalorada, ya que la edafósfera es una capa más del planeta tierra. Esta capa puede considerarse como una geomembrana que permite el intercambio de materia y energía entre la litosfera y la atmósfera, sirviendo de protección a la litósfera ante los efectos climáticos. Además, se le califica como un recurso natural no renovable debido a sus bajas tasas de formación. En los ecosistemas terrestres, es soporte y fuente de nutrimentos para los microorganismos, invertebrados y plantas. Su importancia a nivel agronómico es ampliamente reconocida.

En la esfera ambiental, los recursos hídricos están llamados a ser el gran problema de la humanidad para el presente siglo. Es por esto que el tema “cuerpos de agua superficiales” es de suma importancia, tanto por el consumo de grandes cantidades de este recurso por las comunidades humanas a nivel doméstico y por la industria, como por la descarga de aguas residuales, contaminadas en diversos grados, a los cuerpos de agua.

La toma de datos climáticos no es menos importante. Este aspecto tiene al menos dos vertientes de relevancia para los manejadores de recursos naturales: el clima como factor que puede limitar u orientar la distribución y abundancia de los seres vivos, y el clima como elemento cambiante (calentamiento global) que puede modificar estos patrones y que debe ser considerado en la toma de decisiones en materia ambiental.

2

SUELOS

Francisco Bautista Zúñiga* Silke Cram Heydrich** e Irene Sommer Cervantes**

Introducción

El suelo es un cuerpo natural localizado en la superficie terrestre que soporta o es capaz de soportar plantas en forma natural. Es dinámico, cambia con el tiempo y en el espacio, contiene material mineral y/o orgánico no consolidado que ha sido sujeto a factores formadores y muestra efectos de procesos pedogenéticos. Un suelo difiere del material del cual se ha formado en características físicas, químicas, biológicas y morfológicas (SSSA, 1997).

El suelo puede concebirse como un sistema abierto que presenta intercambios de materia y energía con el medio, en él, se desarrollan diversos procesos físicos, químicos y biológicos, responsables de su morfología (forma), características y propiedades (Arnold, 1990).

La formación de un suelo es un proceso largo que dura de cientos a miles de años, por lo que este recurso debe considerarse como no renovable. Los suelos constituyen el medio natural en donde se desarrolla la vegetación y los cultivos agrícolas, en él se inicia y termina la cadena alimentaria: las plantas toman de ahí varios nutrimentos, los herbívoros necesitan de las plantas para vivir, en tanto que los consumidores secundarios, los carnívoros, requieren de los herbívoros para su subsistencia. Cuando plantas, herbívoros y carnívoros mueren los desintegradores los descomponen y se reciclan los nutrimentos. Si se corta la base de la cadena, se altera fuerte e irremediamente al ecosistema (Bautista y Estrada, 1998).

* Departamento de “Manejo y conservación de recursos naturales tropicales”, FMVZ, Universidad Autónoma de Yucatán

** Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México

Otras funciones que cumplen los suelos son: a) Ser regulador de la calidad del agua y del aire ya que funcionan como un reactor, filtrando, amortiguando y transformando muchos compuestos, entre ellos los contaminantes; b) Representa el hábitat de muchos organismos y es reserva genética; c) Es el medio físico para sostener estructura socioeconómica, habitación, desarrollo industrial, sistemas de transporte, recreación, disposición de residuos etc.; y d); Es fuente de materiales como arcilla, arena, grava, minerales etc. Y además es parte de nuestra herencia cultural que contiene tesoros arqueológicos y paleontológicos importantes para preservar la historia de la tierra y la humanidad.

El suelo es más heterogéneo que el agua o el aire, tiende a cambiar mucho más lentamente y por lo tanto a preservar su estado por más tiempo, es por ello que, los estudios de suelo son más intensivos en espacio, pero requieren menor resolución en tiempo.

En general, las investigaciones en edafología, requieren de análisis químicos, físicos, biológicos y bioquímicos *ex situ* y por lo tanto un muestreo de suelos destructivo. El tamaño de muestra generalmente será menor que el estadísticamente deseado y por eso es recomendable seguir una estrategia que permita tomar las muestras de forma eficiente para no invertir recursos económicos en vano.

Los resultados obtenidos del análisis de muestras de suelo se podrán tomar como una descripción exacta de la propiedad del suelo, sólo si: La muestra representa a la población. Los resultados deben, idealmente, ser reproducibles y no tener sesgo, esto significa que en principio no deben depender del investigador. La calidad de un estudio tiene que ser controlable y por lo tanto los procedimientos deben ser transparentes y bien documentados (Schulin *et al.*, 1994).

Obtener una muestra representativa no es tarea sencilla, muchas veces los errores en el muestreo de suelos son mucho más graves que los errores analíticos. El grado en el cual el resultado de un análisis identifica una característica real de toda la población del suelo a estudiar, depende de la precisión del muestreo. Todo el esfuerzo invertido en el aseguramiento de la calidad de los análisis en el laboratorio se desperdicia si la muestra a analizar no es representativa.

La obtención de muestras representativas es una tarea complicada debido a la variabilidad que presenta el suelo. Diferencias en la composición y propiedades del suelo las encontramos no sólo de región a región, sino también a distancias de muestreo muy cortas e incluso dentro de una misma parcela de cultivo. Cada situación es singular y requiere la toma de decisiones de acuerdo a los objetivos específicos y a las características del paisaje o lugar. El hecho de que un suelo varía de una región a otra a escalas muy diferentes, implica que en el diseño de estrategias de muestreo de suelos no se puede seguir una “receta”, más bien cada muestreo debe diseñarse de acuerdo a las características de la región de interés y

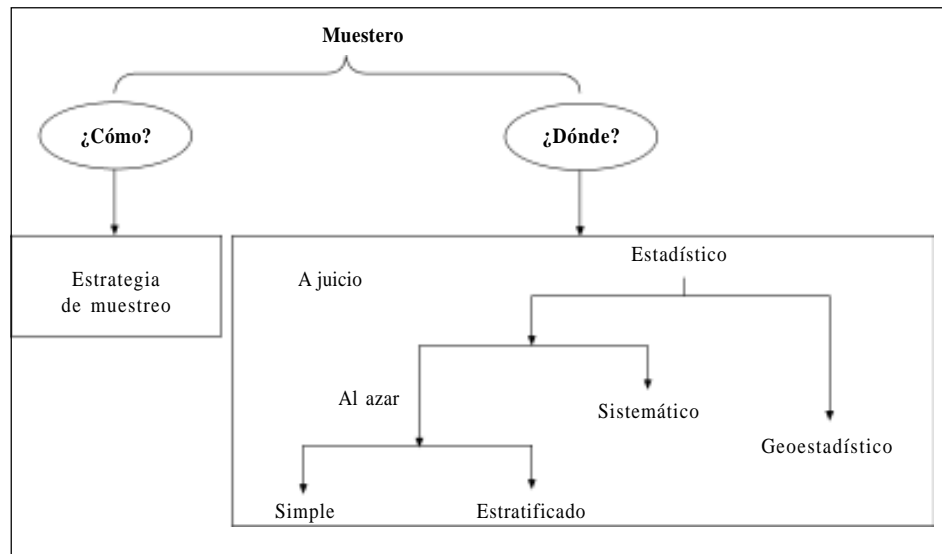
al objetivo que se persigue; contestando las siguientes preguntas: ¿Cómo? y ¿Dónde? (Figura 1).

El presente ensayo tiene como objetivo orientar al lector sobre las preguntas que debe responder en la construcción de una estrategia de muestreo de suelos de acuerdo con los objetivos y nivel de detalle que se requiere en el estudio. Las técnicas de muestreo de suelo que se comentarán en este texto son: 1) Para el levantamiento de suelos; 2) Para estudios de contaminación; 3) Para diagnóstico de la fertilidad del suelo; y 4) Para evaluaciones de técnicas agrícolas.

Estrategia general del muestreo

Esta parte comprende básicamente los elementos que deben tomarse en cuenta para diseñar una estrategia de muestreo considerando los objetivos del estudio y las características de la zona.

Figura 1



Preguntas que se deben contestar durante el diseño de un muestreo

En cada caso se tendrá que elaborar una estrategia o un modelo de aproximación que contemple los siguientes puntos (Figura 2): a) Definición del problema y objetivos del estudio; b) Definición de las variables a medir; c) Definición de la población; d) Número y ubicación de sitios de muestreo; e) Tipo de muestra y equipo; f) Profundidad de muestreo; g) Cantidad de muestra y h) Época de muestreo.

- Definición del problema y objetivos del estudio. Este punto se refiere a que se debe tener en mente la pregunta que se quiere contestar con los resultados de los análisis de las muestras, para que desde un inicio se elabore un plan de toma de muestras completo y adecuado al objetivo del estudio. En muchas ocasiones es preciso recolectar primero toda la información relacionada con el caso, para decidir cuál es la información adicional que se necesita para resolver el problema.
- Definición de las variables a medir. Se refiere al listado de características y propiedades que se necesitan medir y existe una relación muy estrecha entre los métodos analíticos utilizados y los procedimientos de toma de muestras. Los métodos analíticos determinan la forma de la toma de muestras, la herramienta a utilizar, la cantidad de muestra y la forma de preservación y transporte. El procedimiento se vuelve complejo si el estudio considera múltiples métodos que requieren diferentes formas de recolección, tratamiento y almacenamiento. Es importante considerar además las variables y datos del sitio que se necesitan para la interpretación de los resultados generados (p. e. vegetación, uso del suelo, tipo de suelo, topografía, datos de agua, etc.).
- Definición de la población. Antes de ejecutar una investigación se debe definir la población que se va a representar en la muestra, para disminuir el riesgo de que se tomen datos no válidos, incompatibles o irrelevantes. La muestra se toma definiendo la región que se quiere estudiar y las localidades de interés dentro de esta región.
- Número y ubicación de sitios de muestreo. En esta sección se exponen los principios generales para obtener muestras representativas de un suelo, considerando diversas opciones. Existen dos diseños que dependen de la cantidad y utilidad de la información que se desea obtener del área de estudio, estos son: 1) Basado en el juicio del experto; y 2) El diseño estadístico, que comprende a los métodos estadísticos tradicionales (aleatorio simple, aleatorio estratificado y sistemático) y al análisis de datos correlacionados en el espacio (geoestadísticos) (Webster y Oliver, 1990; Schulin, 1994; Tan, 1996; Peterson y Calvin, 1996; ISO/DIS, 1996; Einax *et al.*, 1997) (Figura 3, Cuadro 1).

A juicio del experto

La selección de puntos de muestreo consiste en la ubicación de las muestras típicas de la población de estudio con base en la experiencia de quien toma la muestra, o sea, se lleva a cabo por un experto. Este tipo de muestreo disminuye considerablemente el número de muestras, lo cual se traduce en un menor costo del estudio,

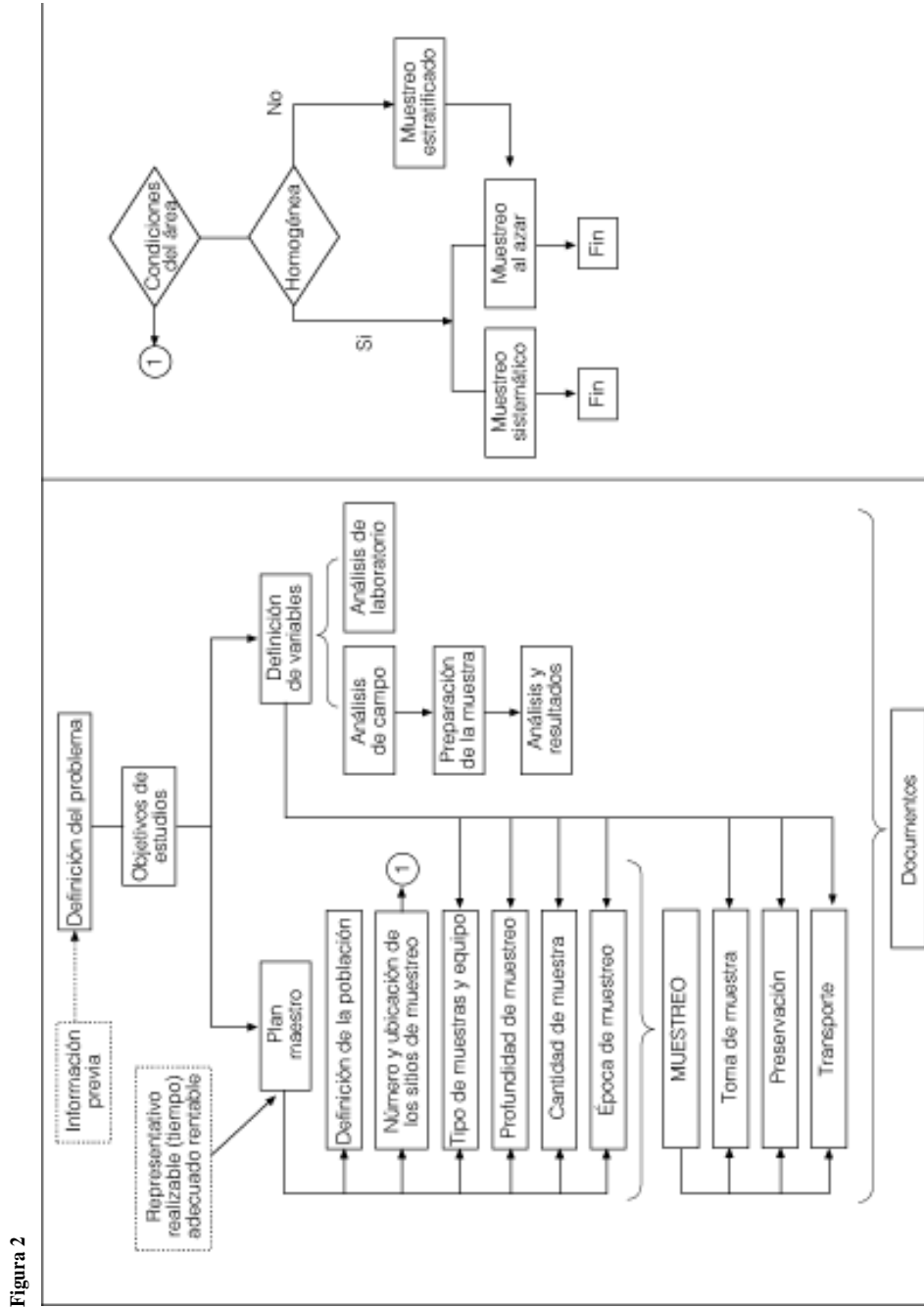


Figura 2

Diagrama de flujo para el diseño de una estrategia de muestreo de suelos.

pero es importante considerar que se tiene que contar con edafólogos que tengan experiencia en la identificación de unidades de paisaje y de características del suelo, para a su vez identificar la variabilidad del suelo en campo y así poder ubicar los sitios de muestreo.

Con un muestreo de este tipo no se podrán aplicar aproximaciones a los resultados, se corre el riesgo de realizar un estudio subjetivo, sesgado y con errores sistemáticos, sin datos adicionales no podrán hacerse extrapolaciones. Representa una aproximación inicial o muestreo primario para obtener datos para elegir el diseño de muestreo estadístico más adecuado.

Muestreo aleatorio simple

Los puntos de muestreo de toda la población, se eligen de tal forma, que cualquier combinación de n unidades, tenga la misma oportunidad de ser seleccionada, se lleva a cabo seleccionando cada unidad al azar e independientemente de cualquier unidad previamente obtenida. La forma más usual para determinar los puntos de muestreo, es trazando un sistema de coordenadas sobre el área de estudio, seleccionando dos distancias al azar, una para cada eje, y la intersección de estas dos será el sitio en el que se tomará la muestra.

Los resultados de este tipo de muestreo, son adecuados para poblaciones homogéneas, aunque, si se conoce la variabilidad de la población es mejor utilizar uno de los métodos que se describen a continuación:

Cuadro 1

Diseño	Número de muestreo	Precisión de muestras	Aplicación / Observaciones y Exactitud
A juicio del experto	+	No se puede evaluar	Información general, primera aproximación para elegir un diseño de muestreo. Lo debe llevar a cabo personal con experiencia
Aleatorio simple	++	+	En poblaciones homogéneas
Aleatorio estratificado para cada subpoblación	+++	++	En poblaciones heterogéneas. Se obtienen datos
Sistemático	++++	+++	En poblaciones heterogéneas, se utiliza para elaborar mapas de distribución
Geoestadístico	+++++	++++	En regiones con variabilidad desconocida. Cartografía de la distribución espacial de propiedades

Algunos diseños de muestreo de suelo y su evaluación por número de muestras, precisión, exactitud y sus aplicaciones

Muestreo aleatorio estratificado

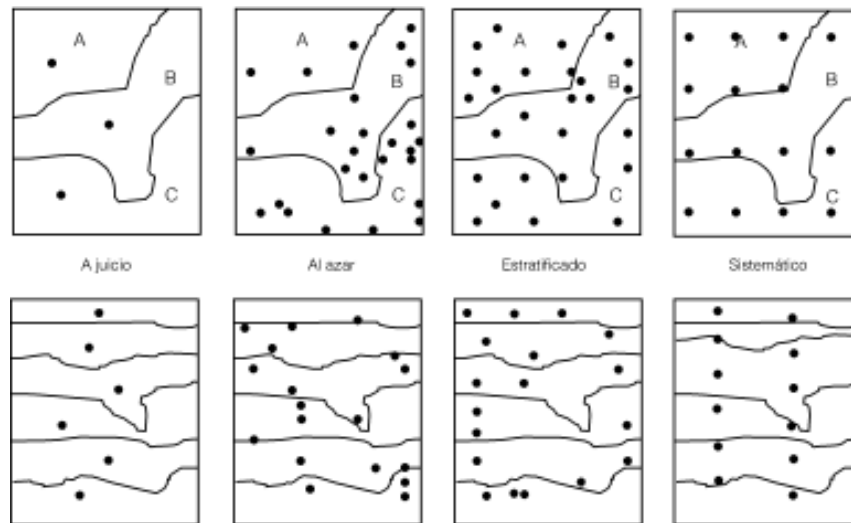
Este método se utiliza comúnmente en poblaciones heterogéneas, en el cual la población se subdivide en estratos (grupos, fases) más homogéneos y en cada estrato se lleva a cabo un muestreo aleatorio simple. Para la elección de estratos se utiliza información previa, como son el clima, la geomorfología, el tipo de suelo y la vegetación/uso del suelo de la zona de interés, entre otros.

Las principales razones por las que se utiliza este plan de muestreo son el obtener datos específicos para cada subpoblación y aumentar la precisión en los datos sobre la población.

Muestreo sistemático (en rejilla)

El muestreo sistemático consiste en la toma de muestras equidistantes con el fin de realizar una mejor caracterización de la población. Si se trata de muestras en espacios de dos dimensiones se trazan varias líneas paralelas y perpendiculares sobre la superficie. Sobre las intersecciones (que deben ser equidistantes) se toma la muestra, la separación entre líneas y por lo tanto el número de puntos depende del nivel de detalle deseado.

Figura 3



Ejemplos de los diseños de muestreo basado en el juicio del experto, aleatorio simple, aleatorio estratificado y sistemático en 1) un paisaje con tres tipos de suelo (A, B y C) y 2) en un perfil de suelo con 6 horizontes (Dijkerman, 1981).

Muestreo geoestadístico

La geoestadística incluye todos los métodos estadísticos para el análisis de datos correlacionados en el espacio, también se le conocen como la teoría de las variables regionalizadas (Einax *et al.*, 1997).

Estos métodos se desarrollaron por la necesidad de tomar muestras representativas en regiones geográficas que tienen una variabilidad significativa y desconocida. Se utilizan en gran medida para elaborar mapas de distribución de determinadas propiedades o características del suelo, por ejemplo, la distribución de metales en una región determinada, para ello se utiliza la interpolación geoestadística conocida como «kriging», la cual requiere del conocimiento del variograma o su equivalente (Webster y Oliver, 1990).

Para utilizar este método de la forma más efectiva, se sugiere determinar, en un muestreo preliminar, la escala de la variación espacial (muestreo en nido) y sobre esta base diseñar un muestreo en rejilla regular.

- a) Tipo de muestra y equipo de muestreo de suelos. En el Cuadro 2 se presentan los diferentes tipos de muestras que se manejan en el muestreo de suelos, su definición, su aplicación en edafología y las herramientas que se utilizan. Algunos de los criterios para la elección de las herramientas de muestreo son: tamaño de muestra que se necesita para el análisis, capacidad para tomar muestras en tipos de suelos diferentes (arcillosos, arenosos, orgánicos etc.), profundidad máxima a la que se va a tomar la muestra, capacidad para tomar muestras de suelo bajo diferentes regímenes de humedad, accesibilidad al sitio de muestreo y los requerimientos de personal para su manejo.
- b) Profundidad de muestreo. La profundidad de muestreo es la distancia en centímetros a partir de la superficie del suelo sin tomar en cuenta el horizonte orgánico (O). Esta profundidad dependerá nuevamente del objetivo del muestreo. Se muestran algunos ejemplos en el Cuadro 3 (Reichert y Roemer, 1995; ISO/DIS10381-1, 1995):

Cuadro 2

	Por horizontes	Muestras		Inalteradas
		Alteradas		
		Superficiales		
		Simples	Compuestas	
Definición	Horizontes del perfil del suelo diferenciados por procesos	Muestras de un sitio	Muestras de varios sitios que han sido mezcladas	Muestras que se colectan sin alterar la estructura
Aplicación	Levantamiento de suelos, análisis mineralógicos y fisicoquímicos y comportamiento de contaminantes	Conocimiento de la variabilidad superficial	En estudios de fertilidad y para el conocimiento de los valores medios en zonas homogéneas	Estudios de micromorfología y densidad aparente. También se utilizan en estudios con columnas de suelo
Toma de muestra	En calicatas, las muestras se colectan por horizontes	Muestreos de rejilla y transectos	Tomar 16 o más submuestras del mismo tamaño	De las paredes del perfil, de parte del perfil o del perfil completo
Herramientas y accesorios	Palas curvas y planas, picos, espátulas, barrenas de un metro de largo, GPS y cámara fotográfica	Barrenas de 5 cm de diámetro, el largo depende de los objetivos del estudio	Barrenas de 5 cm de diámetro el largo depende de los objetivos del estudio	Cajas de Kubiena, cuchillos, cilindros de PVC o acero inoxidable con bordes afilados, martillo

Tipos de muestras según sus aplicaciones

Muestra compuesta: Con la mezcla de la muestra se asume que en el análisis se obtiene una estimación válida de la superficie de estudio, que de otra forma se obtendría con la media de los análisis individuales de las muestras simples. Se utiliza en estudios a escala regional en los cuales la variabilidad de las muestras simples tomadas a distancias muy cortas meten ruido y opacan cualquier otro patrón más burdo (Fortunati *et al.*, 1994). Es muy importante que todas las submuestras de un área homogénea se tomen a la misma profundidad, ya que de lo contrario se producen considerables variaciones en algunos análisis. Para ello, es útil poner una marca en la barrena a la profundidad deseada.

Cuadro 3

Objetivo del muestreo	Profundidad de muestreo recomendada
Génesis y clasificación (cartografía)	Por horizontes
Diagnóstico de fertilidad	Espacio radicular, aprox. 0 – 30 cm
Riesgo de contaminación de acuíferos	Por horizontes
Riesgo a la salud: jardín de niños	Hasta 35 cm (0-5 , 5-15 y 15-35 cm)
Consumo de plantas	Espacio radicular
Afectación a microorganismos del suelo	Horizonte A
Comportamiento de contaminantes	Por horizontes

Profundidad del muestreo de acuerdo con objetivos

- a) Cantidad de muestra. La cantidad de muestra que se va a tomar se determina a partir del número y tipo de parámetros que se van a analizar. En el Cuadro 4 se indica la cantidad de muestra para cada tipo de análisis (Hildenbrand *et al.*, 1996). Es recomendable considerar la cantidad de muestra con base en los análisis que se realizarán, ya que una toma de muestra posterior puede ser costosa. Deben conservarse por separado la muestra sin tratamiento y la muestra molida finamente para el análisis. Actualmente, se recomienda coleccionar una menor cantidad de muestra como una forma de respeto a la naturaleza. En el mismo sentido, se recomienda que al tapar la calicata, el suelo se coloque de acuerdo con los horizontes respectivos.
- b) Época de muestreo La pregunta de cuando deben tomarse las muestras es importante sobre todo si el objetivo del estudio son propiedades del suelo que tienen altas tasas de cambio (potencial redox, nutrimentos, nitratos, contenido de humedad) (Varallyay, 1990), para ello, por ejemplo, será importante considerar en el diseño del muestreo: el régimen hídrico, el programa de las actividades agrícolas, las épocas del año, etc.

Reglas generales durante la toma de muestras

Las muestras se deben tomar de tal forma que el material de suelo sea representativo de toda la extensión o intervalo de profundidad que se quiera estudiar.

- Si se utiliza una pala o herramienta parecida, se debe evitar contaminar la muestra con material de otros puntos de muestreo, superficies u horizontes.
- Las herramientas de muestreo deben limpiarse antes de cada utilización, retirando todas las partículas adheridas.
- Hay que tener especial cuidado de que toda la muestra se deposite en el recipiente adecuado, elegido con base en las propiedades que se analizarán.

- En general, es prudente llevar al cabo el trabajo de campo entre dos personas o más, esto aumenta la seguridad en la información y facilita la recolección de datos.
- En el caso de perfiles, la muestra debe tomarse de los frentes. Antes de la toma de muestra deben limpiarse las caras del perfil, p. e. raspando con una pala. Las muestras deben tomarse siempre de abajo hacia arriba para evitar mezclar horizontes. La toma de muestra se realiza sacando la cantidad requerida en dirección horizontal.
- Si es posible deben documentarse los perfiles con fotografías a color o diapositivas. Las fotos deben tener indicado el número de fotografía y la identificación del perfil.

Fuentes de error en el muestreo

El error de muestreo se presenta cuando la muestra incluye solamente las unidades de muestreo seleccionadas y no a toda la población, es decir, no es representativa. Este error es causado por la inherente variación entre las unidades de la población, a continuación se consideran algunos de ellos (Peterson y Calvin, 1996; EPA/600/R-92/128, 1992; Einax *et al.*, 1997):

- Error de heterogeneidad. Por la variabilidad en la composición de cada partícula que conforma la unidad de muestra. El error se reduce moliendo el material.
- Error de agrupación. Por la forma en la que las distintas partículas se separan y distribuyen, este error se relaciona con la heterogeneidad en la composición de la muestra. El factor de agrupación refleja la probabilidad de que una partícula sea incluida en la muestra.
- Error de fluctuación. Por la heterogeneidad en el espacio (transectos) y en el tiempo (cambios estacionales).
- Error de delimitación y extracción. Por la definición incorrecta del volumen de material que debe ser extraído (núcleos, horizontes, profundidad) y es una de las principales fuentes de introducción de sesgo o error en el muestreo.

Identificación de las muestras

Cada muestra se identifica clara y duraderamente (por lo menos con localidad de muestreo, número de muestra, fecha, hora, profundidad y persona que tomó la

muestra) (Figura 4). La forma de la numeración debe unificarse e ir de acuerdo con la forma en que se toman las muestras.

Cuadro 4

Tipo de análisis	Peso en gramos
Caracterización química (pH, CIC, C, Ca, Mg, Na, K, N, P)	500
Caracterización física (textura, densidad)	500
Contaminantes inorgánicos	150
Hidrocarburos	250
Muestras de retención de humedad	1000

Cantidad de muestra recomendada según tipo de análisis

Las etiquetas deben colocarse dentro y en el exterior del recipiente en el que se coloca la muestra de suelo. Utilice tinta que no se disuelva en agua.

Preservación y transporte de muestras

Las formas de preservación y transporte dependerán del objetivo del muestreo de suelos, a continuación se mencionan algunos ejemplos (ASTM, 1997).

Figura 4

Número de muestra _____	Número de muestra _____
Fecha _____	Fecha _____
Tratamiento _____	Perfil _____
Profundidad _____	Profundidad _____
Colector _____	Horizonte _____
Proyecto _____	Colector _____
Responsable del proyecto _____	Proyecto _____
Localidad o sitio _____	Responsable del proyecto _____
	Localidad o sitio _____

Ejemplos de tipos de etiquetas

Las muestras que serán utilizadas para la caracterización física y química del suelo se depositan en bolsas de plástico previamente tal cual son tomadas en campo y se transportan en costales o cajas de cartón para evitar cualquier pérdida. Se recomienda utilizar dos bolsas por muestra con el fin de protegerla y evitar pérdidas.

Las muestras inalteradas para la determinación de parámetros físicos como densidad, permeabilidad porosidad y contenido de humedad se colocan en contenedores que deben ser lo suficientemente gruesos y estables para evitar rupturas y pérdida de material. Los tipos de contenedores pueden ser de PVC o acero inoxidable con tapas de plástico. Además se envuelven en papel aluminio o plástico y se colocan en otros contenedores como cubeta, cajón etc. para evitar que se muevan durante el transporte.

Las muestras para la determinación de contaminantes orgánicos se colocan en contenedores de vidrio con tapa metálica previamente enjuagados con un solvente. Las muestras deben de mantenerse a 4 °C desde que se toma la muestra hasta su análisis.

Las muestras para la determinación de contaminantes inorgánicos se colocan en contenedores no metálicos para evitar contaminación, generalmente se utilizan bolsas de plástico y se transportan sin pretratamiento, al menos que las especificaciones del proyecto indiquen lo contrario.

Documentación

Todo el proceso, desde el diseño del muestreo hasta la toma de muestras debe documentarse por la persona que lo lleva al cabo. La bitácora debe contener un conjunto mínimo de datos para poder identificar el sitio de muestreo con exactitud (coordenadas con el GPS, croquis del sitio, paisaje, uso del suelo etc.). En el caso de que se vaya a realizar un muestreo del suelo por horizontes es importante documentar además la información obtenida en la descripción de los perfiles (Siebe *et al.*, 1996).

Levantamientos de suelo

El objetivo del levantamiento de suelos es el conocimiento de su variabilidad, registrando las diferencias de un lugar a otro y como capturar en mapas esta información.

El ordenamiento de los suelos en el espacio es un sistema de cartografía que rompe la continuidad del suelo en unidades espaciales que tienen menos variabilidad en determinadas propiedades del suelo que el continuo o totalidad del suelo.

Al estudiar, clasificar y cartografiar suelos existe una inherente dependencia con la escala de observación. El clima generalmente influye sobre la variabilidad a gran escala determinando diferencias regionales (Brady, 1998), aunque en re-

giones montañosas la temperatura y la precipitación pueden variar a distancias muy cortas, por ejemplo los suelos en pendientes que miran al norte difieren de aquellos de pendientes que miran al sur en una misma localidad. También el material parental determina patrones a escala regional, pero puede haber diferencias a escala local, p.e. por depósitos coluviales al pie de una pendiente o aluviales a lo largo de un río.

A escala semiregional, la variabilidad de muchas propiedades del suelo está relacionada en primer plano, con diferencias en un factor formador del suelo, ésto se observa en litosecuencias, cronosecuencias y toposecuencias. A escala local, las variaciones se dan por pequeños cambios en la topografía y grosor de las capas del material parental o a los efectos de la cobertura vegetal, por ejemplo, la variabilidad en la fertilidad de una parcela.

En cartografía el investigador decide subjetivamente sobre la variación permitida en sus unidades cartográficas que dependen en gran medida del objetivo y con ello de la escala. En el Cuadro 5 se presenta un ejemplo de la relación entre el objetivo y la escala de observación, de ambos se deriva la estrategia de muestreo a seguir.

Cuadro 5

Levantamiento	Escala	Área por 1 cm ²	Observaciones	Linderos
Exploratorio	1:5000000	625 km ²	1/25 km ²	Inferidos
	1:500000	25 km ²	1/50 km ²	
Reconocimiento	1:250000	1 km ²	1/2 km ²	La mayoría inferidos
	1:100000			
Semidetallado	1:75000	6.25 ha	1/12.5 ha	Algunos comprobados
	1:25000			
Detallado	1:20000	1 ha	1/2 ha	La mayoría comprobados
	1:10000			
Intensivo	Mayor a 1:10000	Menos de una ha	Menos de 1/2 ha	Todos comprobados

Relación entre la intensidad, la escala y la exactitud en un levantamiento de suelos (FAO, 1979)

En todos los casos, es necesario el trabajo en gabinete de fotointerpretación y cartográfico, para identificar las unidades de mapeo. Para ello existen diferentes enfoques que manejan métodos y términos diferentes en la definición de las unidades de mapeo (Cuadro 6).

En cada uno de los enfoques varía el componente del paisaje o terreno en el cual se basa el levantamiento y muchas veces está en función de la formación profesional del personal dedicado a la evaluación (suelo, relieve, vegetación).

Sin embargo, el elemento que caracteriza a las unidades frecuentemente corresponde a formas del relieve reconocibles o apreciables a diferentes escalas.

La Figura 5 muestra la metodología a seguir en un levantamiento de suelos. En primer lugar tiene que definirse el objetivo del estudio, ya que éste a su vez determina la información que se requiere, la escala y por lo tanto el número de observaciones que se tienen que hacer en campo (FAO, 1979; Ortiz y Cuanalo 1981; Siebe *et al.*, 1996).

En el trabajo de campo, se sigue primero un diseño de muestreo a juicio identificando los tipos de suelos presentes en el área y la naturaleza general de su patrón de distribución. Este patrón se establece previamente como unidades de fotointerpretación en gabinete. A continuación se describen estos perfiles tipo y para realizar la cartografía se llevan al cabo transectos buscando la comprobación de los linderos de las diferentes unidades de suelos con un muestreo sistemático con barrenaciones y observaciones en cortes de carretera y perfiles a determinadas distancias. Aquí es donde se determina el número de observaciones que deben de llevarse a cabo dependiendo del objetivo del estudio y por lo tanto de la escala (Cuadro 5).

Cuadro 6

UACH Fisiográfico	CSIRO Fisiográfico	ITC-CIAF Holístico	ITC ¹ Geomorfológico	ITC ² Geomorfoedafológico	SEDUE Paisajístico	INEGI Fisiográfico	Nivel
Zona terrestre					Zona		General
División terrestre				Geoestructura			
Provincia terrestre						Provincia fisiográfica	
Región terrestre	Sistema de terreno complejo	Paisaje principal	Provincia de terreno	Ambiente morfogenético	Provincia ecológica	Subprovincia fisiográfica	
Subregión terrestre						Discontinuidad fisiográfica	
Sistema terrestre	Sistema de terreno	Sistema de terreno	Sistema de terreno	Paisaje geomorfológico	Sistema terrestre	Sistema de topofomas	
Faceta	Unidad de terreno	Faceta terrestre	Unidad de terreno	Relieve/modelado/litología/facies	Paisaje terrestre	Topofomas	
Elemento	Faceta de terreno	Ecotopo	Componente de terreno	Forma de relieve	Unidad de paisaje	Elemento de topofomas	Detallado

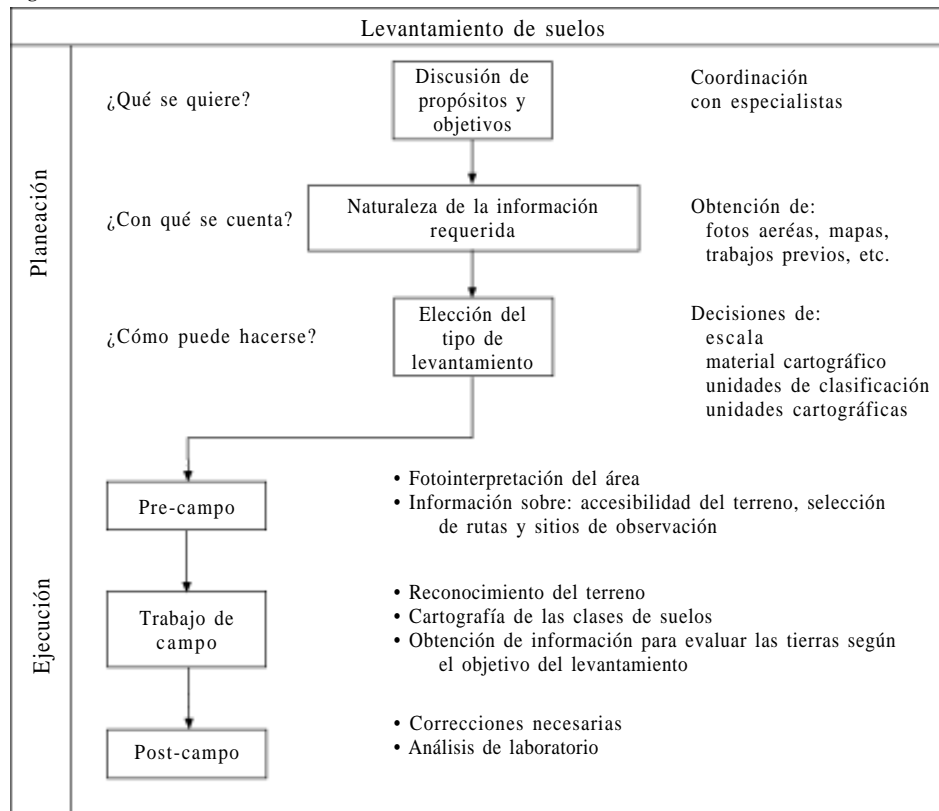
Tipología jerárquica del paisaje según diversas escuelas y corrientes (Mendoza y Bocco, 1998)

UACH= Ortiz y Cuanalo, 1978; CSIRO= Tchristian y Stewart en Tricart y Killian, 1982; ITC-CIAF= Zonneveld, 1979; ITC¹= Van Zuidan, 1986; ITC²= Zinck, 1988; SEDUE, 1988; INEGI= Quiñones, 1987.

Contaminación

La contaminación constituye un aspecto importante en la degradación del suelo. La calidad de un suelo, es decir, su capacidad para desarrollar una serie de funciones, puede verse afectada negativamente por la contaminación. La contaminación puede definirse como la concentración de un elemento o de un compuesto químico a partir de la cual se producen efectos desfavorables, que se traduce en una pérdida de aptitud para determinada función o hace inutilizable al suelo, a menos que se le someta a un tratamiento previo.

Figura 5



Representación esquemática de un levantamiento de suelos (Ortiz y Cuanalo, 1981)

La contaminación se asocia con la entrada de sustancias que son depositadas a través de diferentes vías, el suelo puede ser un receptor primario o secundario según sea una depositación directa (aplicación de plaguicidas, derrames etc.) o

indirecta (p.e. por depositación atmosférica) y sus efectos sobre las funciones que cumple un suelo en el ambiente dependerán en gran medida de la unidad de suelo en la cual sean depositadas, ya que los diferentes tipos de suelo difieren en su vulnerabilidad a ser degradados.

Algunos objetivos asociados a los estudios de contaminación pueden ser: a) La evaluación de la distribución espacial de un contaminante; b) El monitoreo del comportamiento temporal de un contaminante; y c) La identificación de fuentes

Cuando el objetivo de estudio es la evaluación de la distribución espacial de un contaminante, debe cubrirse el área de interés completamente. La información se utiliza para tomar decisiones acerca del uso del suelo o acciones de limpieza. El tipo de información que se necesita no es la concentración de contaminantes en sí, pero sí la de riesgo de exceder o no ciertos valores que son críticos para actuar o para decidir que tratamiento utilizar. Es importante considerar los “niveles de fondo” o “niveles naturales” dados por la génesis del suelo (Bautista, 1999).

Si el objetivo del estudio fuera el monitoreo del comportamiento temporal de un contaminante, se trataría de la identificación de tendencias de los contaminantes en el sentido de su comportamiento con el objeto de prevenir (*a priori*) o de controlar (*a posteriori*) la contaminación. La evaluación *a priori* significa predecir con base en escenarios o por extrapolación de tendencias. *A posteriori* involucra estudios repetidos a una determinada población. Se ejecutan para evaluar cambios en la contaminación de suelos causadas por una fuente o para evaluar la efectividad de medidas de control y saneamiento

La identificación de las fuentes de contaminación requiere información obtenida de un estudio de suelo, por ejemplo, si una fuente puede rastrearse sobre la base de la contaminación espacial a lo largo de transectos o vías de dispersión de los contaminantes. Aunque es igualmente importante la obtención de datos e información histórica sobre las actividades que probablemente tengan relación con las fuentes de emisión.

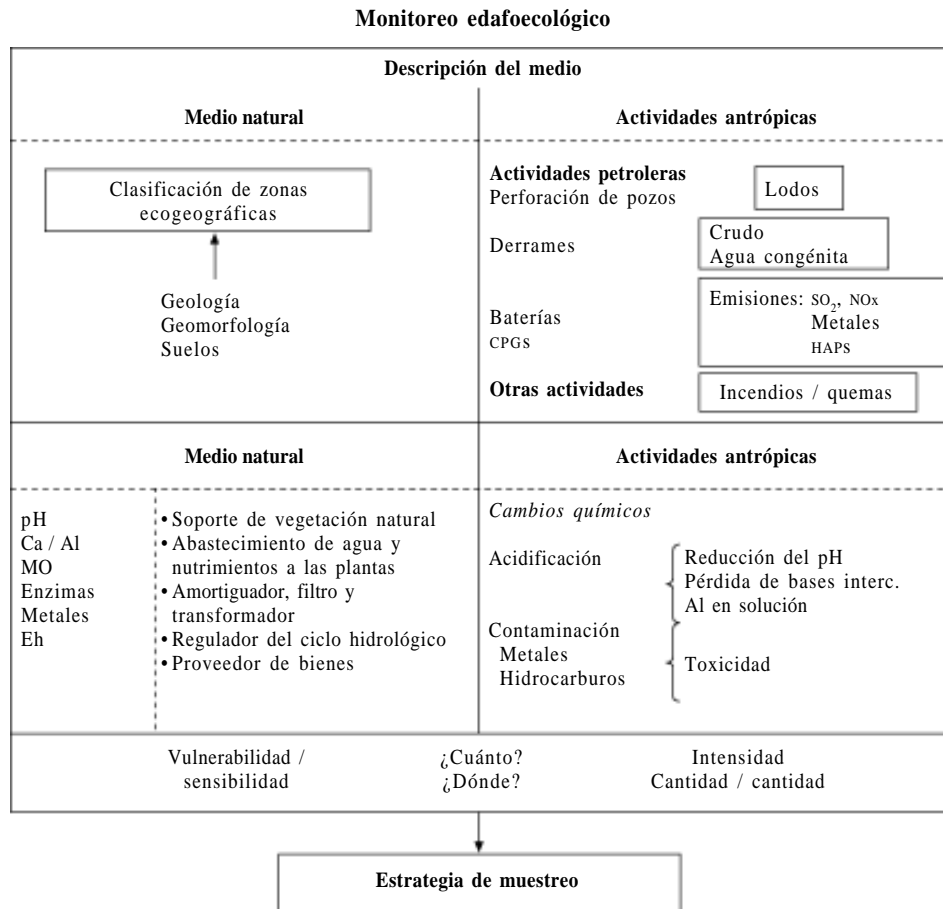
Cada uno de estos objetivos tiene sus propias implicaciones sobre la estrategia de muestreo a elegir, aunque en todos los estudios el objetivo implícito es el de estimar las características del patrón espacial de la contaminación del suelo en una región determinada.

En el monitoreo edafocológico (Siebe, 1999) primero se delimitan unidades ecogeográficas con características homogéneas, se identifican las probables causas de la contaminación y se establece cuales pueden ser los contaminantes que son emitidos, diferenciando por tipo de fuente y determinando sus probables rutas de acceso al suelo (Figura 6). Una vez identificados los contaminantes, se definen sus probables impactos sobre la calidad de los suelos, así como los procesos de degradación más factibles a ocurrir, y se seleccionan variables que pudieran ser indicadoras de dichos impactos y procesos.

El siguiente paso es el de establecer las zonas prioritarias para los estudios detallados (definición de la población) considerando a los suelos que puedan ser vulnerables a ese tipo de contaminación y considerando la elección de sitios control similares a los estudiados para determinar los niveles de fondo para la región. Estos niveles de fondo se refieren a las concentraciones que se encuentran en el suelo de forma natural, por ejemplo los metales heredados del material parental (Alloway, 1995) del cual se formó el suelo, o la presencia de determinados compuestos orgánicos que se producen por biosíntesis (Wang *et al.*, 1999).

La magnitud del impacto a escala local se evalúa realizando muestreos dirigidos partiendo de la fuente a lo largo de transectos, y a escala regional, comparan-

Figura 6



Monitoreo edafocológico para evaluar el efecto de las actividades petroleras.

do los valores medios obtenidos de los diferentes compuestos en zonas bajo influencia de los contaminantes, con valores medios obtenidos en zonas lejanas a actividades petroleras (zonas “control”). La severidad del impacto se determina seleccionando bioindicadores que se miden tanto en la zona de impacto como en las zonas control.

Schulin y colaboradores (1994) indican que la mejor estrategia es proceder en multietapas como se muestra en la Figura 7, que resume los pasos de las estrategias más apropiadas para la toma de muestras y con ello cumplir con los tres objetivos mencionados. El primer objetivo está relacionado con la elaboración de un inventario que cubra toda el área de interés o con el mapeo de contaminantes; el segundo con la evaluación de efectos y el tercero con el establecimiento de las causas. Estos dos últimos se engloban en el tipo de estudio “evaluaciones de efectos” ya que se relacionan entre sí, porque la detección de efectos se puede referir con respecto a las fuentes, a las vías de transferencia de contaminantes o su destino final. En todos los casos la señal que se debe detectar es la variación controlada por los efectos de la contaminación. La primera etapa es evaluar la información existente. Si el análisis de esta información es suficiente para tomar una decisión, entonces el estudio termina ahí, si no el estudio continúa y se elige la estrategia de muestreo, que se deriva del análisis del problema y de la formulación del objetivo.

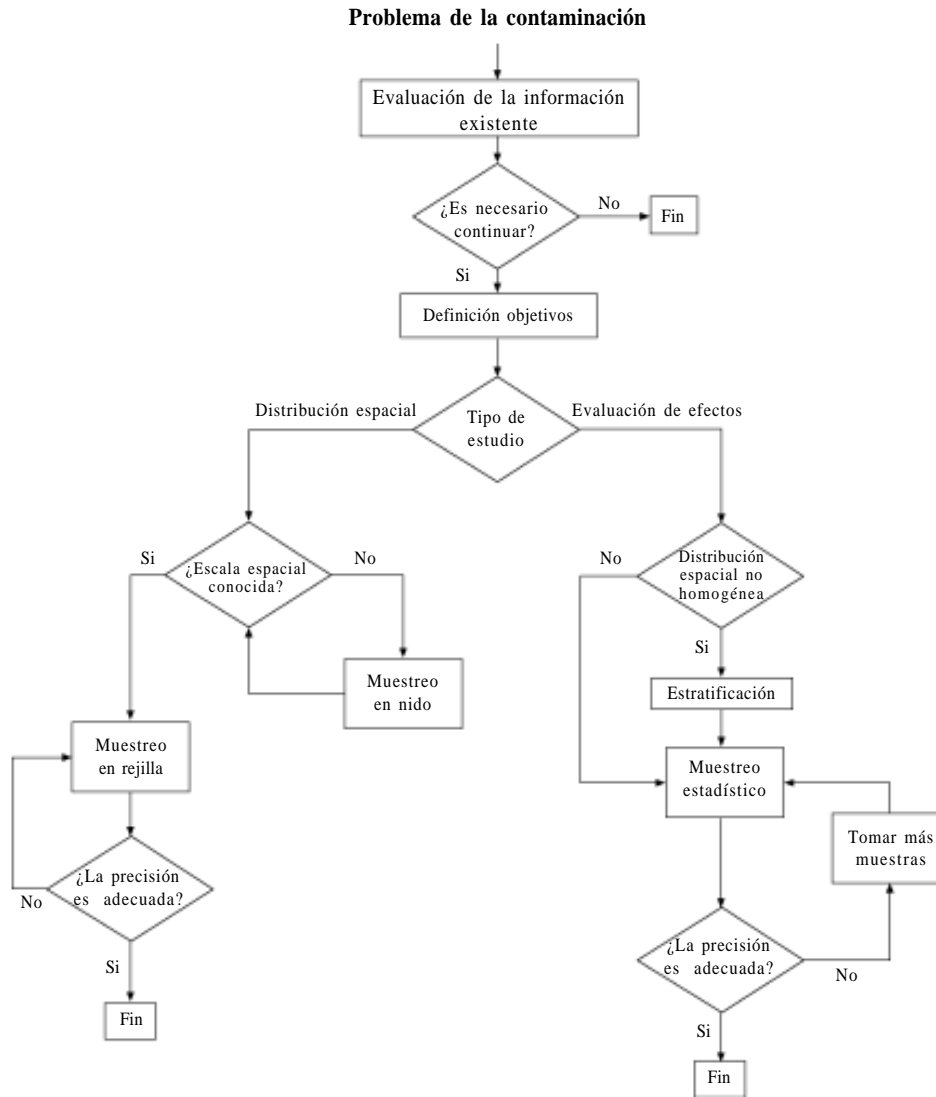
En el caso de la distribución espacial que implica la interpolación de valores medidos o estimados entre puntos, se recomienda la interpolación geoestadística o «kriging» (Webster y Oliver, 1990). En el kriging ordinario se asume que las medias y las varianzas de las diferencias entre puntos vecinos, dependen solamente de la separación en distancia y dirección, pero no de la posición absoluta. Si esta suposición es cierta, entonces el kriging provee interpolaciones o predicciones no sesgadas con una varianza mínima.

Si la varianza de las interpolaciones es muy grande para alguna de las partes de la región de muestreo, entonces el muestreo se puede intensificar para obtener la precisión deseada.

Para el kriging se requiere el uso de variogramas o su equivalente, la función de covarianza. Para minimizar costos en la estimación de variogramas se recomienda proceder en etapas:

- Llevar al cabo un muestreo preliminar en forma de nido, para obtener una visión general de la región y determinar la escala espacial de la variación, si es que no se conoce.
- Llevar al cabo un muestreo en rejilla regular diseñado sobre la base de la variación de la escala espacial.

Figura 7



Esquema general de los pasos a seguir en una investigación regional de contaminación de suelos.

La investigación y con ello el muestreo se termina cuando es suficientemente preciso, esto es, que la información obtenida permita tomar las decisiones con la precisión requerida, dependiendo de la escala de observación.

En el caso de la evaluación de los efectos de contaminantes con una distribución espacial no homogénea, en particular gradientes o discontinuidades, la región debe estratificarse de acuerdo al patrón de distribución esperado. Cada estrato se muestrea utilizando algún diseño de muestreo al azar para evitar sesgos. Los diferentes estratos pueden entonces compararse (p. e. análisis de varianza y regresión) para evaluar las tendencias.

Diagnóstico de la fertilidad

El diagnóstico de la fertilidad del suelo se realiza mediante el análisis químico de muestras de suelo y plantas. Por medio del análisis de suelo es posible conocer la cantidad de abastecimiento de nutrimentos que puede proporcionar el suelo a los cultivos. Un buen diagnóstico de la fertilidad del suelo es importante en la elaboración de programas de fertilización y manejo de las parcelas, lo cual redundará en la producción agrícola y en la conservación del ambiente.

Una vez teniendo claro el objetivo del estudio, se inicia la evaluación de la fertilidad con la delimitación de las áreas de estudio que se consideran homogéneas en función tanto de sus características climáticas, geológicas, morfológicas, topográficas, como las propias del perfil del suelo: coloración, humedad, nivel freático, textura y estructura, y las del cultivo, su desarrollo, forma de manejo (riego, labranza fertilización). Si se desconocen las características del suelo que se está trabajando, se recomienda además la descripción del perfil del área.

Estas áreas homogéneas pueden ser de distinto tamaño, desde unos metros cuadrados hasta varias hectáreas si el territorio es muy uniforme. En este sentido hay que recordar que la heterogeneidad del suelo, en función de sus contenidos nutritivos, se manifiesta en una superficie de un metro cuadrado tanto como en una hectárea.

Una vez que se establecieron las áreas homogéneas se procede a tomar una muestra compuesta y una réplica, de cada una de éstas áreas. Por la heterogeneidad del suelo, aun dentro del área homogénea, se sugiere la técnica de formar una sola muestra compuesta por un número comprendido entre 15 y 40 para obtener resultados confiables para toda el área muestreada (Cobertera, 1993; Ramírez, 1998). Webster y Oliver (1990) recomiendan formar una muestra compuesta con 16 submuestras, éstas se toman con un diseño estadístico.

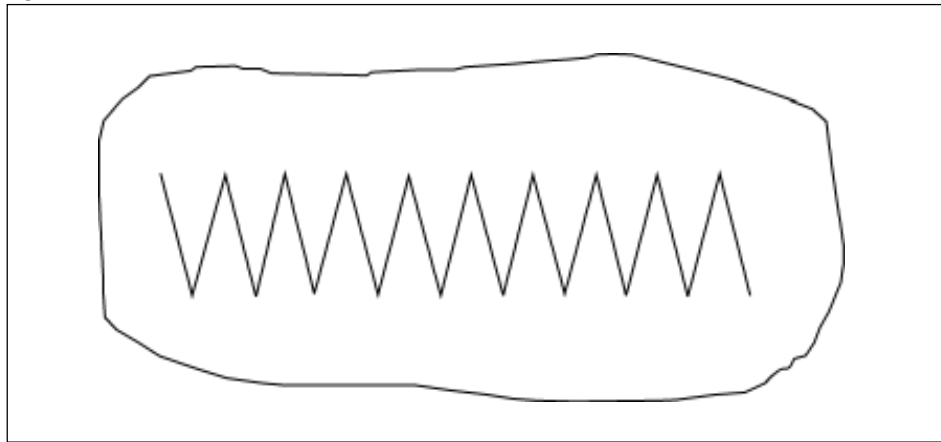
Se toman submuestras correspondientes a la capa arable (horizonte Ap), que es en donde principalmente tienen lugar todos los procesos responsables del nivel de

fertilidad de los suelos, a excepción del contenido de nitratos para lo cual es preciso tomar las submuestras a unos 60 cm de profundidad para obtener datos que se puedan correlacionar con la respuesta nitrogenada de las plantas (Cobertera, 1993).

Si el objetivo son cultivos de árboles se toman adicionalmente otras submuestras más profundas considerando los horizontes hasta alcanzar el horizonte C.

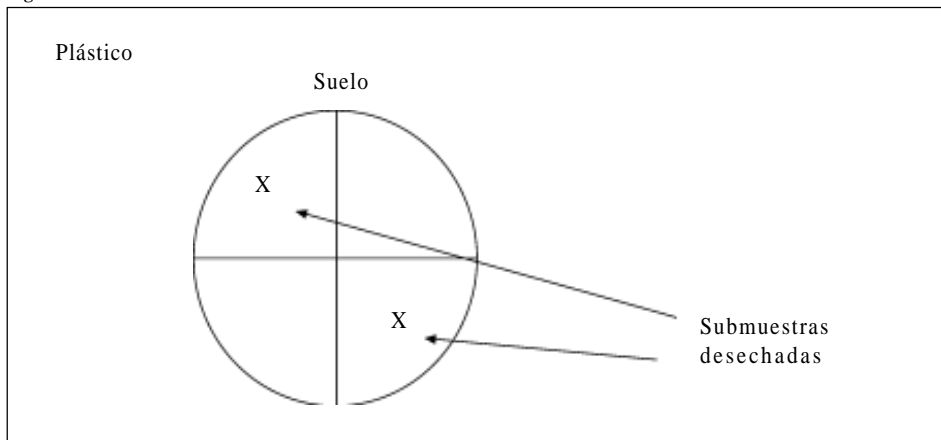
La forma más común de la toma de muestras es en forma sistemática en zig-zag, dentro de cada una de las áreas, con varios recorridos en zig-zag (Henríquez *et al.*, 1998) (Figura 8).

Figura 8



Toma de muestras en zig-zag en el cual se toma una submuestra por cada vértice.

Figura 9



Disminución del tamaño de la muestra compuesta por cuarteo

Las submuestras se van colocando dentro de un recipiente limpio (balde, cubeta, bote, saco o costal), al terminar la toma de muestras, se sacan las piedras y hojarasca (raíces grandes, tallos, etc.). Los terrones se desmenuzan con la mano y el suelo se mezcla. Posteriormente, se efectúa el cuarteo, que consiste en la colocación del suelo sobre un plástico dividiéndose en cuatro partes, de las cuales, dos de extremos opuestos son eliminadas. Las dos restantes, se vuelven a mezclar y cuartear, hasta reducir la muestra a un kilogramo (Henríquez *et al.*, 1998) (Figura 9).

La toma de muestras en experimentos de fertilidad se realiza al inicio del cultivo, aún cuando la planta no absorba todos los nutrientes asimilables es importante conocer el contenido potencial de iones disponibles para el cultivo.

En el supuesto caso de no contar con información sobre la parcela, en la identificación de las zonas homogéneas pueden utilizarse plantas que responden a las diversas calidades del suelo, como el maíz, los tubérculos, algunas leguminosas anuales. Las diferencias en la producción de esas plantas pueden ser indicadoras de diferencias a nivel de suelo y servirán para identificar las diversas áreas al interior de la parcela.

Otras plantas, como el pasto, algunas leguminosas y algunas arvenses responden al clima y a otros factores, lo cual impide utilizarlas como indicadoras de la heterogeneidad espacial del suelo, como por ejemplo, *Mucuna deerengianum* responde más intensamente al clima, esta planta puede crecer en suelos someros, pedregosos, rocosos, y en suelos profundos; en suelos ácidos, neutros y básicos, pero es muy sensible al contenido de precipitación pluvial, por ello, no sirve como planta indicadora de diferencias a nivel de suelo.

Evaluación de técnicas agrícolas

Las prácticas agrícolas, como la labranza, riego, fertilización, aplicaciones de abono, entre otras, modifican las propiedades del suelo. A menudo, se requiere evaluar su efecto tanto en el mismo suelo como en los cultivos.

Siendo tan diversas las prácticas agrícolas, solo se mencionarán algunas recomendaciones generales para la toma de muestras.

- Considerar la profundidad de influencia de la práctica agrícola de manejo de suelo. En suelos someros (menores de 30 cm) en los que no se realiza labranza ni ningún otro tipo de práctica agrícola que involucre el movimiento del suelo, debe considerarse la toma de muestra de los primeros 5 cm, debido a que es allí donde se presenta una gran cantidad de procesos biológicos que

ocasionan fuertes diferencias con el suelo de mayor profundidad. Si en el estudio de la influencia del cultivo de distintas plantas, se tomaran muestras de suelo de la “capa arable” a 20 ó 30 cm, se perdería información valiosa contenida entre 0 y 5 cm de profundidad ya que se “diluiría” el efecto con la mayor cantidad muestra mezclada.

- Identificación del disturbio (ceniza, compactación, mezcla de horizontes, salinización, etc.)
- Localización lateral del disturbio (sobre el surco, en la ladera del surco o en el canal del surco; efecto del riego, labranza, destronque, etc.)
- En el caso de parcelas agrícolas debe considerarse que las muestras sobre la cima, flanco y fondo del surco pueden ser diferentes entre si (Martínez, 1979 en: Etchevers, 1985) y muy diferentes entre las “calles” entre las “eras”.
- En experimentos con cultivos de cobertera el muestreo de suelos depende de la disposición de las plantas, de la labranza, de la posición en el surco, en este caso se recomienda un muestreo “a juicio”.
- Los suelos cercanos a los caminos, líneas eléctricas, carreteras, canales etc. deben evitarse debido a que están sujetos a contaminación y/o perturbación (Etchevers, 1985).
- La época de muestreo, es fuente de variación por muchas causas, entre ellas, lavado de elementos solubles; aumento en la descomposición de la hojarasca y por lo tanto en la generación de compuestos por la mineralización, actividad de la fauna edáfica, actividad de las plantas.

Referencias

- Alloway B. 1995. *Heavy metals in soils*. Blackie Academic y Professional, London, UK.
- Arnold R. 1990. Pedosphere. In: Arnold R., Szabolcs I. y Targulian V. (Eds.). *Global soil change*. IIASA-ISSS-UNEP, International Institute for Applied Systems Analysis. Laxenburg, Austria.
- Bautista-Zúñiga F. y Estrada-Medina H. 1998. Conservación y manejo del suelo. *Ciencias*, 50: 50-55.
- Bautista-Zúñiga F. 1999. *Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados*. Universidad Autónoma de Yucatán. Yucatán, México.
- Brady N. y Weil R. 1998. *The nature and properties of soils*. Prentice Hall.
- Cobertera E. 1993. *Edafología aplicada*. Gráficas Rógar, España.
- Dijkerman J. C. 1981. Field description, morphology and sampling of soils. MSc. Course in soil science and water management. Agricultural University. Wageningen, the Netherlands.
- Einax J. W., Zwanziger H.W. y Geiss S. 1997. *Chemometrics in environmental analysis*. VCH-Wiley. EUA.

- EPA/600/R-92/128. 1992. *Preparation of soil sampling protocols: sampling techniques and strategies*. US Environmental Protection Agency. EUA.
- Etchevers J. D. 1985. *Análisis químico de suelos - el por qué de sus fallas*. Serie cuadernos de edafología 4. Centro de edafología, Colegio de Posgraduados, Chapingo, México.
- FAO. 1979. *A framework for land evaluation*. FAO Soils Bull. 42, FAO, Roma, Italia.
- Fortunati G., Banfi C. y Pasturenzi M. 1994. Soil sampling. *Fresenius J. Anal. Chem.*, 348: 86-100.
- Henríquez C., Bertsch F. y Salas R. 1998. *La fertilidad de suelos: manual de laboratorio*. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. Costa Rica.
- Hildenbrand E. y Thurian G. (Eds.). 1996. *Bodenprobenahme und Bewertung von Bodenkontaminationen*. Expert Verlag, Malsheim, Germany. Kontakt y Studium, Band 507.
- ISO/DIS 10381. 1995. Soil quality –Sampling.
- ISO 11074-1. 4. 1996. Soil quality - Vocabulary.
- Mendoza M. y Bocco G. 1998. *La regionalización geomorfológica como base geográfica para el ordenamiento del territorio: una revisión bibliográfica*. Serie Varia, Instituto de Geografía, UNAM, México. 17: 25-55.
- Ortiz-Solorio C. y Cuanalo de la Cerda H. 1981. *Introducción a los levantamientos de suelos*. Colegio de Posgraduados, Chapingo, México.
- Peterson R. J. y Calvin L. D. 1996. Sampling. In: Sparks (Ed.). *Methods of soil analysis*. Part 3. SSSA, Wisconsin, EUA.
- Ramírez F. 1998. *Muestreo de suelos para diagnóstico de fertilidad*. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. Costa Rica.
- Reichert K. y Roemer M. 1995. Probenahme und Untersuchungsmethoden. In: Fachgruppe Wasserchemie der GDCh. VCH, Weinheim. (ed.). *Chemie und Biologie der Altlasten*.
- Schulin R., Webster R. y Meuli R. 1994. *Regional soil contamination surveying*. Federal Office of Environment, Forests and Landscape (FOEFL) Environ. Docum. 25. Bern, Switzerland.
- Siebe Ch., Jahn, R. y Stahr K. 1996. *Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo*. Publicación especial No. 4. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.
- Siebe Ch. 1999: Monitoreo edafoecológico multiescalar. In: Siebe C., Rodarte H., Toledo G., Etchevers J. y Olechko C. (Eds.). *Conservación y Restauración de Suelos*. PUMA, UNAM, México.
- SSSA. Soil Science Society of America. 1997. Glossary of soil science terms. SSSA, Wisconsin, EUA.
- Tan K. 1996. *Soil sampling, preparation and analysis*. Marcel Dekker, New York, EUA.
- Varallyay G. 1990. Types of soil processes and changes. In: Arnold R., Szabolcs I. y Targulian V. (Eds.). *Global soil change*. IIASA-ISSS-UNEP, International Institute for Applied Systems Analysis. Laxenburg, Austria.
- Wang Z., Fingas M. y Page D. 1999. Oil spill identification. *J. Chromath.*, 843: 369-411.
- Webster R. y Oliver M. A. 1990. *Statistical methods in soil and land resource survey*. Oxford University Press. Oxford, Inglaterra.

3

MONOLITOS DE SUELOS

Rafael Más-Martínez*, I. Fernández-Denis*, Rafael Villegas*
y Francisco Bautista-Zúñiga**

Introducción

La degradación de las tierras agrícolas amenaza la capacidad del mundo para producir alimento, estando ya afectadas el 40% de ellas y ocasionando una disminución de la productividad en un 16% de las tierras agrícolas del mundo (PNUD *et al.*, 2001).

En América Latina el 16% del suelo se encuentra afectado por alguna forma de degradación (FAO, 2001). El impacto es mayor en Mesoamérica alcanza el 26% subregional, incluyendo el 74% de la tierra cultivada, al igual que el 11% de los pastos permanentes y un 38% de los bosques. En América del Sur, la degradación afecta el 14% del territorio: un 45% de la tierra cultivada, un 14% de los pastos permanentes y un 13% de los bosques.

La degradación de suelos es como una crisis silenciosa que está avanzando tan rápidamente en América Latina, que pocos países tienen la esperanza de alcanzar una agricultura sostenible en un futuro próximo. Es un problema que, a pesar de estar amenazando la subsistencia de millones de personas en la región, tiende a ser ignorado por los gobiernos y la población en general. Esto se debe a la escasa información que hay del recurso y a la mala economía de los países en cuestión.

En el territorio mexicano el 60% está afectado por la erosión que va de severo a extremo, la pérdida de la fertilidad se encuentra en el 80% de la superficie, los distritos de riego en los que se localizan las mejores tierras agrícolas presentan

* Instituto Nacional de Investigación en Caña de Azúcar, La Habana, Cuba

** Departamento de "Manejo y conservación de recursos naturales tropicales", FMVZ, Universidad Autónoma de Yucatán. México

problemas de salinidad del suelo, asimismo, se cuenta con una gran cantidad de superficie ocupada por zonas áridas y semiáridas en las que avanza la desertificación.

Por otro lado, en México, aún no se cuenta con los mapas de suelos a nivel de reconocimiento a escala 1:250000. La nomenclatura utilizada es una adaptación a la FAO de 1977 que no contiene los nuevos avances en la materia, generados durante los últimos 30 años. La información contenida en estos mapas es una referencia poco detallada para la mayoría de las aplicaciones actuales (SEMARNAP, 2000).

En resumen, los tomadores de decisiones que participan en la administración del espacio físico de la región, así como los productores agrícolas, forestales y pecuarios, nunca han contado con la suficiente información (en cantidad y calidad) que les permita tener los elementos de juicio suficiente para fundamentar la toma de decisiones.

Más aún, en el México no se cuenta con una colección de monolitos de suelos, ni mucho menos con un museo que contenga la información básica sobre este recurso natural no renovable.

Esta situación de dispersión de la información y el escaso conocimiento de los suelos, se presenta, entre otras razones, por el alto costo de los estudios pedogénicos (Ortíz, 1990; Zinck, 1990; Valenzuela y Zinck, 1994) y por la escasa cantidad de profesionistas que trabajen en el área, lo cual ha ocasionado que las prácticas de manejo agrícola del suelo se realicen sin el conocimiento de sus propiedades, así como de los procesos que en él operan, lo cual origina: la presencia de problemas de degradación edáfica; sobreuso de insumos agrícolas y deficiente disposición de desechos que pudieran llegar a generar problemas de degradación del suelo y contaminación de los cuerpos de agua aledaños.

Por los problemas arriba mencionados, se hace necesaria la elaboración de colecciones de suelos (monolitos) en la que se muestren los perfiles con sus horizontes, producto de los procesos de formación influenciados por los factores formadores del suelo, lo cual sería de mucha utilidad en investigación, docencia y divulgación sobre el manejo y conservación del suelo, tal como se tiene en otros países (Jamagne *et al.*, 1994; Chang *et al.*, 1994).

En particular, la elaboración de colecciones de monolitos de suelos es de gran importancia en la generación de una mejor conciencia de la población en general sobre el manejo y conservación de dicho recurso. Son de indudable valor didáctico para estudiantes de todos los niveles escolares.

En cuestiones de uso práctico, los productores agropecuarios pueden utilizar la información generada con y contenida en los monolitos para la toma de decisiones.

Una colección de monolitos es una herramienta de investigación de fácil consulta y acceso, que permite y facilita la actualización de la información de las

bases de datos de suelo en cuestiones de clasificación y génesis de suelos, así como en aspectos de investigación agrícola, pecuaria, forestal, ambiental y en el ordenamiento del territorio en general.

En este documento se describe la técnica de preparación de monolitos de suelo basado en el trabajo de Van Barren y Bommer (1982), en la experiencia del “Centro internacional de referencia y datos sobre suelos” (ISRIC), en la experiencia del “Centro de referencia de suelos de Cuba” y en la experiencia de la “Colección de monolitos de suelos y bases de datos de la Península de Yucatán”.

Los objetivos son: 1) Informar sobre la importancia de los levantamientos de suelo; y 2) Describir la técnica de preparación de monolitos, ambas ideas con la idea de que sirvan de guía para la formación de colecciones científicas de suelos en México.

Selección del sitio

La primera actividad consiste en la selección del sitio en el que se abrirá la calicata.(o cavidad que se realiza en el suelo para la observación y descripción del perfil). Para ello, es necesario tomar como información de base, los levantamientos de suelos ya realizados o, en caso contrario, analizar la cartografía existente, así como las fotografías aéreas, modelos digitales del terreno y demás información cartográfica con el fin de identificar las unidades de mapeo y la selección de los sitios de muestreo que sean representativos del área en estudio. En el caso de que la colección de monolitos se realice a la par de un levantamiento de suelos, se recomienda seguir la estrategia descrita en la Figura 1.

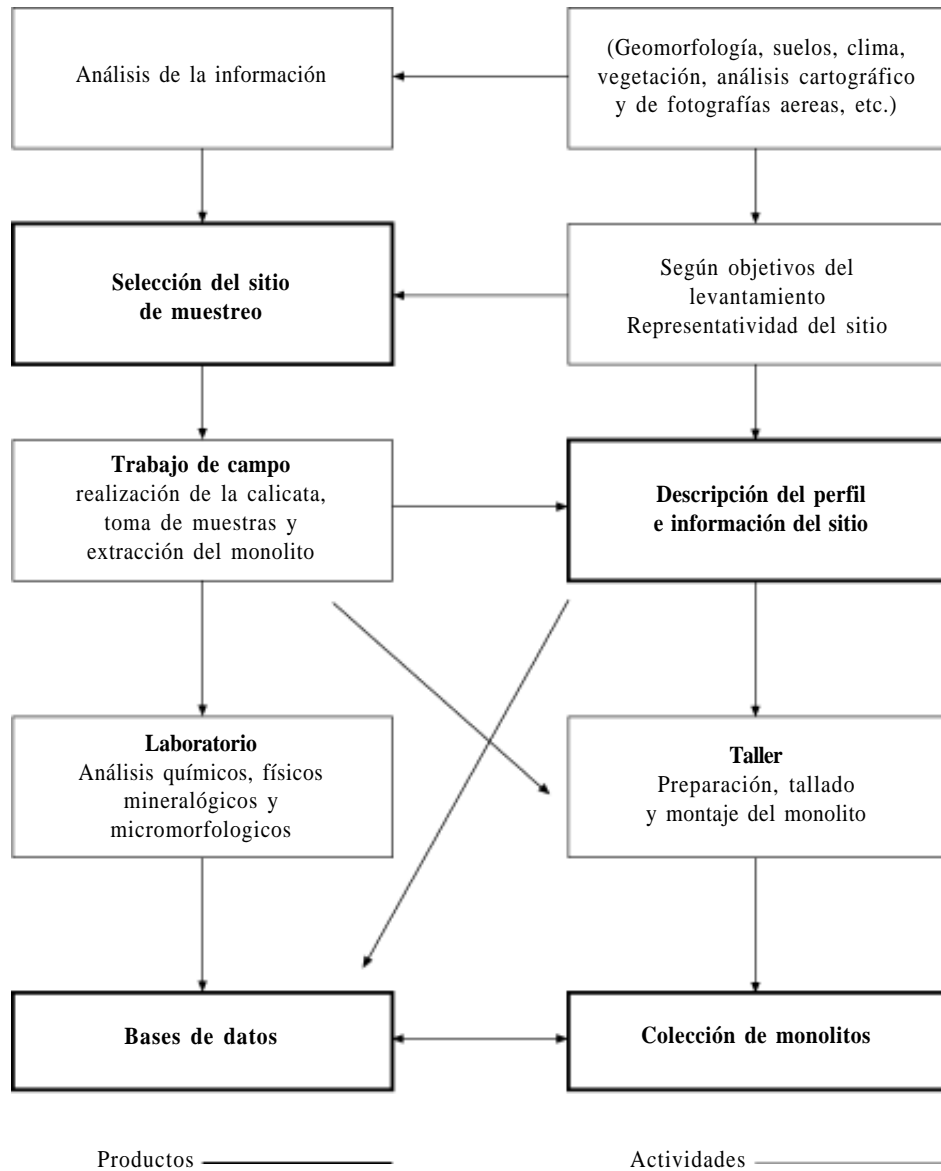
Se recomienda que la selección de los sitios de muestreo se encuentren lo menos perturbado posible, preferentemente que sean zonas vírgenes. Los sitios de muestreo deberán localizarse geográficamente con un geoposicionador.

Trabajo de campo

Elaboración de la calicata

Para el estudio de la morfología del perfil es necesario realizar una calicata en los suelos representativos de la unidad de mapeo. Para ello, se dibuja un rectángulo de 1.5 de ancho por 3 m de largo sobre la superficie del suelo, tratando de que uno de los lados de 1.5 m quede expuesto al sol al término de la calicata, tanto para la descripción del perfil como para la extracción del monolito.

Figura 1



Metodología general para la elaboración de una colección de monolitos

En cuanto a la profundidad de la calicata, se recomienda que sea de un máximo de 1.5 m de profundidad, cuando esto fuera posible. En suelos someros la calicata debe realizarse hasta donde se considere suficiente para la clasificación del suelo, recordando que la profundidad efectiva es una característica importante en la clasificación de tierras.

Se recomienda contar con cajas de tres tamaños de largo, como 1.5 m, 1.0 m y 0.5 m. En la realización de la calicata se recomienda utilizar palas rectas, curvas y picos (Anexo 1). La pala recta se utiliza para realizar cortes en las paredes de la calicata de manera que las paredes queden rectas o lisas, además, la pala recta sirve para sacar bloques de suelo enteros en suelos arcillosos. Los bloques de suelo se sacan a manera de escalones, es decir, primero se introduce la pala de manera recta hacia abajo, posteriormente se introduce la pala de manera tangencial al primer corte. Se debe tener el cuidado de que el tamaño de la calicata no disminuya conforme se avanza en la excavación.

La descripción del perfil del suelo se realiza de acuerdo a la guía para la descripción y codificación de datos de suelo (Van Warveren y Bos, 1987; Siebe *et al.*, 1996). En la identificación de los horizontes, se recomienda tener en cuenta los cambios en el color, consistencia, textura, estructura, presencia de concreciones, raíces y tipo de minerales y demás rasgos pedológicos.

Los cambios en color pueden indicar la presencia de algunos minerales como los óxidos de hierro y manganeso, la cantidad de materia orgánica y el drenaje.

Otros minerales como el carbonato de calcio, sulfato de calcio, micas, y alofano pueden identificarse de manera visual y con análisis sencillos de campo como el uso de HCl 10% en el caso del carbonato de calcio y NaF en el caso del alofano; sin embargo, la identificación de otros minerales requiere de estudios especiales.

La densidad aparente indica la presencia de capas endurecidas, materiales amorfos, cantidad relativa de materia orgánica y procesos de intemperismo

Los cambios en la textura pueden estar relacionados con cambios en la capacidad de intercambio de cationes, tipos de erodabilidad y en la dinámica del agua.

La estructura del suelo se encuentra relacionada con la dinámica del agua y con el uso de arado.

Los cambios en el valor de pH pueden estar asociados a los minerales secundarios y a la actividad biológica.

Los invertebrados edafícolas están asociados al proceso de descomposición y al transporte de materiales en el perfil.

Se realiza un registro fotográfico del paisaje, en el que se incluye la calicata, perfil, detalle de los rasgos pedológicos, vegetación y cultivos, que será expuesta junto con el monolito.

Las muestras de suelo se toman de los horizontes inferiores a los superiores, para evitar la posible contaminación de los horizontes y deben estar bien identificadas.

Las muestras de suelo por cada horizonte, son enviadas al laboratorio para su caracterización analítica, mediante análisis químicos, físicos, micromorfológicos y mineralógicos, lo más completa posible, tal y como lo recomienda la “Base mundial de referencia del recurso suelo” (WRBSR, 1999). Se recomienda, en caso de existencia, la inclusión de otro tipo de clasificaciones locales o autóctonas, ya que en la actualidad están siendo revaloradas y se ha reconocido su importancia en cuestiones de manejo del suelo. Esta información deberá incluirse en una base de datos digital para ser procesada y enviada a la colección de monolitos.

Extracción del monolito

Para la toma del monolito primeramente se alisa bien la cara de la calicata donde se va a moldear la columna de suelo y se marcan, con un cuchillo, las dimensiones exteriores de la caja sobre la superficie lisa usando su tapa.

Posteriormente se comienza a cortar el suelo con cuchillo, espátula, cincel y piqueta de geólogo, quitando cuidadosamente el suelo de su alrededor, hasta lograr tallar una columna, la que sobresale claramente del perfil (Figura 2).

Las raíces se deben cortar con tijeras podadoras, luego se traza sobre la columna de suelo las dimensiones interiores de la caja y se procede a moldearla y ajustar, las dimensiones de la columna, rebanando sus caras laterales con un cuchillo o espátula, la columna terminada permanece unida al perfil y su espesor supera en algunos centímetros la profundidad de la caja a usar.

Si el material de suelo presenta suficiente cohesión se puede seccionar también la base de la columna, la cual debe caber ajustadamente en la caja. Esta se empuja suave y lentamente contra la columna, quedando el monolito en su interior. Si el suelo es demasiado suelto hay que evitar cortar la columna en su base pues hay riesgo de que se caiga.

La caja se forra por dentro con plástico, para proteger el suelo de desecamiento durante su transporte y almacenaje, al mismo tiempo evita que el monolito se adhiera a las paredes de la caja durante la impregnación.

La caja debe mantenerse firmemente en posición vertical, sosteniéndola en la base con un cincel largo y empujándola contra la columna mediante una barreta. La separación del suelo se realiza comenzando por la parte superior, se debe tener cuidado de no dañar la columna. En la medida en que el suelo es removido detrás de la columna, el monolito y la caja deben ser inmediatamente envueltos con vendas de tela o gasa. Dichas vendas tienen la función de evitar que el monolito

Figura 2



Monolito de un Luvisol unido al perfil y separado de la base

se fragmente al separarlo del suelo. A partir de la mitad de la columna es, muchas veces posible continuar y concluir la operación de excavación y separación de la columna del suelo mediante el uso de una espada o barreta. El monolito resultante tiene aproximadamente de 25-30 cm de espesor.

En suelos compactados se recomienda humedecer el suelo para facilitar la excavación al rededor del monolito.

Una vez separado del suelo, se retira la barreta y el monolito se traslada hacia el exterior de la calicata y se coloca en posición horizontal y se procede a quitar las vendas y el material innecesario, de forma tal que el suelo quede al ras de la caja utilizando cuchillos, machetes y espátulas. En el caso de que la caja fuera más grande, los espacios vacíos se rellenan con bolsas de suelo o poliespuma para que la caja esté completamente llena y no de lugar a movimiento del monolito y a su posible fragmentación (se debe tener cuidado de no mezclar horizontes

del perfil) Después que ha sido convenientemente alisado, se cubre el perfil con un plástico y luego se atornilla la tapa. Se recomienda tomar dos monolitos por cada suelo.

El monolito se transporta dentro de su caja con mucho cuidado utilizando colchonetas. Un monolito de 1.5 m de largo por 0.15 m de ancho y 0.10 m de grosor pesa al rededor de 50 kg, que puede ser cargado por una o dos personas. En las condiciones arriba mencionadas, el monolito puede ser transportado por aire, mar y tierra, teniendo cuidado de evitar la vibración brusca y continua de la caja.

Trabajo de taller

Preparación, tallado y montaje

Una vez en el taller, los monolitos se ponen a secar, colocándolos de manera vertical con una ligera inclinación y recargados en alguna pared (Figura 3).

Se deja secar el suelo hasta que aparecen pequeñas grietas, favoreciendo así la penetración de la laca. Por el hecho de que muchas lacas se “blanquean” cuando se aplican a un suelo demasiado húmedo, se debería realizar un pequeño ensayo antes de someter todo el perfil a tratamiento. El secado tarda algunos días dependiendo del clima (humedad y temperatura de la atmósfera) y la capacidad de retención de humedad del suelo. La viscosidad y tiempo de endurecimiento son también dependientes de la temperatura.

Para mejorar la profundidad del agente preservante es conveniente perforar el material arcilloso con un pequeño taladro con el que se abren orificios (1-2 cm²) de 0.5–1 mm de diámetro y de 15–20 mm de profundidad. Este procedimiento incrementa considerablemente el área superficial a través de la cual penetra el impregnante al suelo hasta la profundidad deseada. Además, las perforaciones evitan la formación de grietas grandes (que dificultan el tallado) y favorecen la formación de muchas grietas pequeñas.

Se preparan disoluciones de laca en thinner de diferentes concentraciones (en dependencia de la textura y porosidad del suelo) y se aplican al suelo con un pulverizador o vertiéndola directamente una o más veces, hasta que el suelo se cubre de una película muy fina del impregnante lo cual suele requerir de algunos días. La dilución de la laca disminuye con las aplicaciones consecutivas (Cuadro 1).

La última aplicación consiste en laca sin diluir. La laca es un producto tóxico que debe ser utilizado con mucho cuidado, se recomienda el uso de equipo de seguridad como máscaras contra gases, cubre bocas y lentes, así como trabajar en lugares ventilados.

Inmediatamente después de la aplicación de la laca concentrada (100%) y en esa misma cara del monolito, se coloca una tela de yute de igual dimensión externa que el monolito (25 cm de ancho y de largo tanto como la profundidad del suelo), con la finalidad de aumentar la superficie de contacto entre el suelo y la tabla de madera (soporte). Sobre el yute se repite la aplicación de laca sin diluir o de cola (de secado rápido) y se adhiere una tabla de madera con un centímetro de grueso, que tiene la misma dimensión que el monolito. El monolito se prensa utilizando de ocho a doce prensas por ejemplar, según su tamaño y se deja secar. El prensado tiene por objeto pegar la tabla, el yute y el monolito.

Al cabo de unos días (hasta el endurecimiento completo de la cola y la laca), se retiran las prensas y se invierte la caja, sirviendo ahora la madera antes pegada como base de soporte del monolito. La tapa es desatornillada y junto con el marco lateral es retirada, quedando el monolito al descubierto. Se coloca horizontalmente sobre el carro con ruedas en el que se transportará o sobre el banco en el que se tallará y preparará. El secado, la impregnación con laca y el prensado dura alrededor de 30 días, aunque en ocasiones se prolonga un poco más dependiendo de los factores climáticos y de suelo anteriormente señalados.

Con la ayuda de un compresor de aire se eliminan las partículas más finas y con los instrumentos de dentista se quitan algunos agregados del suelo para dejar al descubierto los detalles del monolito, como la estructura, la porosidad estructural, los cutanes, concreciones, raíces, túneles de lombrices, etc. con la finalidad de apreciar un monolito en todo su esplendor. El material de suelo no impregnado puede ser removido y eliminado o conservado, para reparar eventuales daños posteriores.

Al final, para consolidar la superficie visible de la forma más natural se impregna el monolito con una solución diluida de un agente transparente (que no brille). El poli-metilacrylato es muy usado para este propósito.

Cuadro 1

Suelos	Primera aplicación	Segunda aplicación	Tercera aplicación	Cuarta aplicación
Textura arcillosa	2 : 8	3 : 7	5 : 5	Laca sin diluir
Textura gruesa	3 : 7	5 : 5	Laca sin diluir	

Relación laca/solvente por aplicación según textura del suelo

El tiempo de tallado y acabado es de cinco días. Durante el acabado, se puede perder gran cantidad de suelo, quedando el monolito de un grosor de alrededor de cuatro centímetros. El tallado se realiza con instrumentos de dentista, la idea es la de exponer los rasgos morfológicos del perfil de manera que se vean lo más natural posible (Figuras 4 y 5).

El monolito con su soporte es colocado en la parte lateral de un panel o tabla de triplay de 150 cm de largo, 25 cm de ancho y de 1 a 1.5 cm de grosor. El triplay debe estar previamente pintado de color negro mate. El monolito es fijado con seis tornillos por la parte posterior, los cuales penetran aproximadamente 1 cm (durante esta operación debe presionarse el monolito contra el panel, para que los tornillos no levanten el bloque compacto de suelo).

Cerca del monolito se coloca una regla que tiene por objetivo la observación del espesor de los horizontes. El resto de la superficie del panel es ocupado por fotografías del perfil, paisaje y algún otro detalle que se desee mostrar por ejemplo, acercamientos de los horizontes con los colores al momento de la realización de la calicata (Figura 6).

En la misma tabla se monta la información sobre las clasificaciones del suelo (internacionales, nacionales y locales), breve descripción del perfil, datos climáticos (climograma), la caracterización analítica, así como la interpretación de la misma, haciendo énfasis en los factores limitantes para el uso del suelo. También se recomienda la colocación de un mapa en el que se indique la localización del suelo representado en el monolito (Figura 7).

Figura 3



Monolitos en etapa de secado. Nótese la inclinación de las cajas

Figura 4



Tallado del monolito en el taller

Figura 5



Descubriendo los razgos pedológicos del detalle

Figura 6



Monolito montado y en exposición utilizando material didáctico

Exposición

Es deseable que se coloque un diagrama del perfil con los horizontes e información analítica en el mismo nivel, principalmente la referente a las propiedades diagnósticas necesarias para la clasificación.

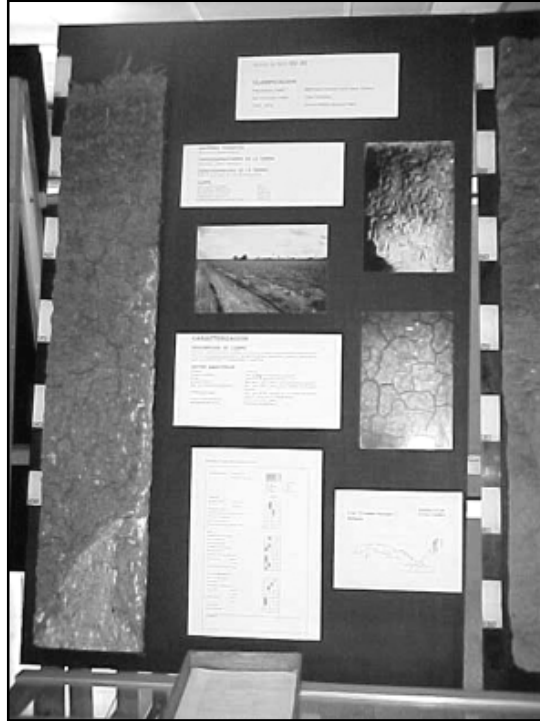
A menudo, se utiliza un diagrama con el que se indica la calidad de la tierra, con base en el clima, el suelo y el manejo de la tierra, como el del siguiente ejemplo del cuadro 2.

La tabla de triplay con la información, se coloca sobre estantería de aluminio con una altura de 70 cm y del diseño acorde con la infraestructura de cada lugar, como en la Figura 10.

La exposición de la colección de monolitos se acompaña de información impresa de los datos analíticos, evaluaciones técnicas y mapas (Figuras 8 y 9).

La colección de monolitos de China se expone con los monolitos dentro de su caja de extracción, únicamente recargados o inclinados en una pared, en la posición de secado. Esto permite alargar la vida útil de los monolitos debido a que está mejor protegido; sin embargo, se dificulta el manejo y la exposición.

Figura 7



Exposición de un monolito, conteniendo mapa, fotografías con rasgos pedológicos de detalle, diagrama de evaluación de tierras, fotografía del paisaje y descripción del perfil

Figura 8



Exposición de monolitos dentro de su caja. Colección China

Figura 9



Monolitos en exposición con información impresa adicional

Figura 10



Exposición de la colección de suelos de Cuba

Cuadro 2

Disponibilidad	ma	a	m	b	mb
Riesgo/ Limitación	np	l	m	s	ms

ma= muy alto; a= alto; medio; b= bajo; mb= muy bajo; np= no presente; l= ligero; m= medio; s= severo; ms= muy severo.

Diagramas para la evaluación del suelo/calidad de tierra

Evaluación del clima

Radiación total					
Largo del día					
Régimen de temperatura					
Riesgos climáticos					
Tamaño de la temporada de lluvias					
Riesgos durante la temporada de lluvias					

Evaluación del suelo

Humedad del suelo potencial total					
Disponibilidad de oxígeno					
Disponibilidad de nutrientes					
Capacidad de retención de nutrientes					
Condiciones de enraizamiento					
Condiciones que afecten la germinación					
Exceso de sales					
Exceso de sales de sodio					
Toxicidad del suelo (p.e. sat de Al)					

Evaluación del manejo de la tierra

Preparación inicial de la tierra					
Trabajo invertido					
Potencial para mecanización					
Facilidad de acceso actual					
Facilidad de acceso potencial					
Riesgo de erosión por agua					
Riesgo de erosión por viento					
Riesgo de inundación					
Enfermedades y plagas					

Referencias

Chang R, Villegas R., Kauffman S., Marin R., Balmaseda C., Arcia F. y Ponce de León D. 1994. Establishment in Cuba of the National soil collection and its database within NASREC Programme. Symposium A world reference base for soil resource. Volume 6b. Word Congress of soil science. Acapulco, Gro., México.

FAO. 2001. El enfoque de planificación participativa para enfrentar la degradación de tierras en América Latina. <http://www.fao.org/WF/FS/s/img/protec-s>

Jamagne M., King D., Le Bas C., Daroussin J., Vossen P. y Burrill A. 1994. Elaboration and use of the european soil geographical data base. Symposium Soil data need for expressing land qualities at different scales. Volume 6b. Word Congress of soil science. Acapulco, Gro., México.

Ortíz C. A., Pájaro D. y Ordáz V. M. 1990. *Manual para la cartografía de clases de tierras campesinas*. Serie cuadernos de edafología 15. Centro de edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, México.

PNUD, PNUMA, Banco Mundial y WRI, 2001. Estudio Global Revela Nuevas Señales de Peligro. http://www.wri.org/press/goodsoil_spa.html

SEMARNAP. 2000. Proyecto norma oficial mexicana PROY-NOM-023-RECNAT-2000, que establece las especificaciones técnicas que deberá contener la cartografía y la clasificación para la elaboración de suelos. SEMARNAP, México DF, México.

Siebe Ch., Jahn, R. y Stahr K. 1996. *Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo*. Publicación especial No. 4. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.

- Valenzuela C.R. y Zinck A.J. 1994. Information technology requiring soil data. Symposium: Utilization of soil information in systems modeling for sustainable agriculture and global climate change. 15th World congress of soil science. Acapulco, México.
- Van Waveren E.J. y Bos A. B. 1987. Guidelines for the description and coding of soil data. Technical paper. International Soil Reference and Information Centre. Wageningen, The Netherlands.
- Van Baren J. H. V. y Bomer W. 1982. Procedimientos para la Colección y Preservación de Perfiles de Suelo. Publicación Técnica No. 1. ISRIC, Wageningen. The Netherlands.
- ISSS, ISRIC and FAO. 1999. World reference base for soil resources. Informes sobre recursos mundiales de suelos 84. FAO, ISRIC and ISSS. Roma, Italia.
- Zinck A. 1990. Soil survey epistemology of a vital discipline. International Institute for aerospace survey and earth science. Enchede, Países Bajos.

Anexo 1. Materiales para la construcción de monolitos

1. Cajas de madera para monolitos (1.5 m de largo, 0.25 m de ancho, 0.1 m de alto) unidas por tornillos. Considere la posibilidad de tener cajas de 1.0 m y 0.5 m de largo para los suelos con menor profundidad.

En el caso de que el suelo sea poco cohesivo o muy blando, como el Arenosol o Gleysol e Histosol, respectivamente, conviene tener cajas de lámina de hierro para insertar la caja completa empujándola y así facilitar el trabajo y coleccionar el monolito completo.

2. Caja de herramientas (juego de desarmadores, trinchas, espátulas, cinceles para madera, martillo de geólogo, sierra de mano, taladro eléctrico y barrenas finas, guantes de goma, prensas pequeñas)
3. Vendas gruesas
4. Tela de felpa o tela de Yute
5. Gasas quirúrgicas
6. Colchonetas para el transporte de monolitos
7. Cintas métricas de costurera (10 de 1.5 m de largo)
8. Carro con ruedas para transporte de monolitos
9. Compresor, pistola de aire, pistola de pintar.
10. Laca (base nitrocelulosa)
11. Cola blanca o acetato
12. Dermoplast o conservante
13. Thiner o acetona para disolver la laca
14. Pintura negra para los tableros
15. Equipo de dentista
16. Tiras de triplay de 1.5 m por lado
17. Cámara fotográfica
18. Geoposicionador (GPS).
19. Pinceles
20. Equipo de seguridad (careta para gases, lentes, etc.)
21. Soportes de aluminio (3 m largo, 2.1 alto, 0.7 m de frente)
22. Bolsas de polietileno (para la toma de muestras de suelo)

4

CUERPOS DE AGUA SUPERFICIALES

Luna Pabello Víctor *, Alejandro Alva Martínez ** y Arturo Bernal Becerra ***

Introducción

El agua es un elemento indispensable para la vida en el planeta. La distribución del agua, a nivel mundial, puede apreciarse en el cuadro 1. Considerando esos valores, resulta sorprendente notar el relativamente poco volumen como agua dulce superficial disponible (Berner y Berner, 1987; Shiklomanov, 1993). Debido a las diversas actividades humanas, el ciclo biogeoquímico del agua, se ha visto afectado significativamente (Odum, 1998), no sólo por el volumen utilizado, sino también por el grado de contaminación con que son retornadas a los cuerpos receptores como ríos y lagos, entre otros (Ryding y Rast, 1989; Suess, 1982). En este sentido, en México, existen Leyes y Normas que regulan las descargas de aguas residuales a cuerpos de agua y bienes nacionales. Al respecto, la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua (LFDMA) establece lo siguiente (CNA, 1998):

ARTÍCULO 278 A.- Los cuerpos de propiedad nacional, receptores de las descargas de aguas residuales, se considerarán como de tipo A, a excepción hecha de los que se señalan como de tipo B o C; todos los Embalses Naturales o Artificiales, se considerarán como tipo B a excepción de los que se señalan como tipo C (según el listado de la propia LFDMA); todos los Estuarios y Humedales Naturales, se considerarán como tipo B. Es importante señalar que cada categoría implica un costo

Por otra parte, la NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y

* Facultad de Química, UNAM, México

** Pista Olímpica de remo y canotaje. México D.F., México

*** Universidad Autónoma Metropolitana, México

bienes nacionales (DOF, 1997), indica precisamente la concentración de máxima que, de ciertos contaminantes, puede ser vertida en función del tipo de cuerpo receptor. La información al respecto puede consultarse en los cuadros 2 y 3.

De manera complementaria, debe señalarse que el valor de las sanciones económicas por exceder el nivel de contaminación establecido, dependen del tipo de contaminante en cuestión y de la zona o región en donde el cuerpo receptor este ubicado.

Lo anterior, aunado a la importancia *per se* que tiene el conocer la calidad de los cuerpos de agua naturales receptores, hace que resulte importante describir el mecanismo seguido para determinar la calidad de agua prevaleciente en los mismos (Lind, 1974; Mason, 1987). En ese sentido, el presente trabajo se orientó hacia los aspectos relativos a las técnicas de muestreo de las aguas contenidas en cuerpos lóticos (ríos y arroyos) y lénticos (estanques y lagos) epicontinentales. Por tal motivo, se considera importante tener en cuenta lo estipulado en la NMX-AA-003-1980 Aguas residuales.- Muestreo (DOF, 1980) ya que constituye un procedimiento con validez oficial vigente. Asimismo, se consideraron los procedimientos avalados por la American Public Health Association (APHA, 1995).

El objetivo de este capítulo es el de introducir al lector a los principales aspectos relacionados con el muestreo de ríos y lagos, así como del manejo de las muestras colectadas.

Marco de referencia

Como se mencionó, es importante saber que existen procedimientos reconocidos oficialmente, a nivel nacional, que son aplicables a la toma de muestras (NMX-AA-003-1980) (DOF, 1980). Sin embargo, es importante consultar literatura especializada sobre el tema, a efecto de estar actualizados sobre las diferentes técnicas y procedimientos usados a nivel mundial, tanto para ríos como para lagos (Bartram y Ballance, 1992; Chapman, 1992; Muñoz, 1996). Al respecto, debe hacerse notar que en todos los casos, la toma de muestras debe ser representativa y confiable que proporcione información útil para la interpretación de la calidad del cuerpo de agua de donde procede y poder llegar a la correcta extrapolación de los datos obtenidos.

La toma de una muestra, está asociada con la información que se espera obtener de ella, por tal motivo, debe tenerse cuidado en la selección del tipo de recipiente que se empleará para su colecta, así como el tipo de conservador que permita disminuir cambios significativos en la muestra hasta que sea analizada. Ambos aspectos se detallan en los incisos subsecuentes. Es importante resaltar que de la

Cuadro 1

Ubicación	Volumen (10 ³ km ²)	Porcentaje total de agua dulce	Porcentaje total de agua
Océanos	1,338,000.00	96.5000	-
Agua dulce subterránea	33,946.50	2.4610	30.15
Glaciares	42,428.10	3.5010	69.56
Lagos de agua dulce	91.00	0.0070	0.26
Lagos de agua salina	85.40	0.0060	-
Agua en pantanos	11.47	0.0008	0.03
Ríos	2.12	0.0002	0.006
Agua en seres vivos	1.12	0.0001	0.003
Agua atmosférica	12.9	0.0010	0.04
Total de agua	1,385,984.00	100	-
Total de agua dulce	35,029.00	2.53	100

Reservas de agua en el planeta (fuente: Shiklomanov, 1993)

correcta toma y conservación de la muestra, depende la factibilidad de realizar los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de interés.

Toma de muestras

La recolección de las muestras depende de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de interés y de los objetivos del estudio.

El objetivo del muestreo es obtener una parte representativa del material bajo estudio (volumen de agua) al cual se le determinarán las variables fisicoquímicas y microbiológicas previstas. El volumen de agua colectado deberá ser transportado hasta el lugar de almacenamiento (cuarto frío, refrigerador, nevera, etc.), para luego ser transferido al laboratorio para su análisis, momento en el cual la muestra debe conservar las características del material original. Para lograr el objetivo se requiere que la muestra conserve las concentraciones relativas de todos los componentes presentes en el material original y que no hayan ocurrido cambios significativos en su composición antes de su análisis (APHA, 1995).

En algunos casos, el objetivo del muestreo es demostrar que se cumplen las normas especificadas por la legislación (resoluciones de las autoridades ambientales). Las muestras ingresan al laboratorio para determinaciones específicas, sin embargo, la responsabilidad de las condiciones y validez de las mismas debe ser asumida por las personas responsables del muestreo, de la conservación y el transporte de las muestras, lo cual por su importancia se detallará más adelante. Las técnicas de recolección y preservación de las muestras tienen una gran importancia, debido a la necesidad de verificar la precisión, exactitud y representatividad

de los datos que resulten de los análisis. Los aspectos anteriores se describen con más detalle en el inciso relativo a manejo y conservación de muestras.

A continuación se indican los principales criterios establecidos para la selección de los puntos de muestreo y aforo de cuerpos de agua lóticos (ríos y arroyos) y lénticos (estanques y lagos).

Criterios generales

Criterios para la selección de puntos de muestreo

Dado que un muestreo de agua implica un intento por establecer, a partir de muestras representativas, la calidad fisicoquímica y microbiológica predominante en un determinado volumen, es necesario la realización de este tipo de toma de muestras de acuerdo con procedimientos estandarizados y avalados por la autoridad competente. De no ser así, se corre el riesgo de obtener datos no útiles.

Para la realización de este tipo de actividades comúnmente se tiene que equilibrar entre lo necesario, lo deseable; lo económicamente viable y lo técnicamente factible. En consecuencia, la definición de los puntos requeridos para tal efecto requiere de contar con la suficiente claridad de lo que se está buscando obtener de esa actividad y los recursos (tiempo, dinero y esfuerzo) programados para ello.

Puntos de muestreo indispensables

La determinación de este tipo de puntos de muestreo se realiza pensando en los puntos mínimos indispensables requeridos para establecer la calidad de agua en estudio. En este sentido, es importante contemplar la(s) entrada(s) y salida(s) de agua. También deben seleccionarse aquellos puntos afluentes que por su volumen y/o contenido de contaminantes resulten importantes de cuantificar. Como es de esperar, esta actividad implica el reconocimiento previo de la zona de estudio, o el contar con antecedentes documentales al respecto. En todo caso, es altamente recomendable realizar una valoración global del área de interés (muestreo preliminar), para contar con mayor información en el momento de efectuar la selección de aquellos puntos de mayor utilidad.

CUERPOS DE AGUA SUPERFICIALES

Cuadro 2

	Parámetros (en mg L ⁻¹ , excepto cuando se especifique)	Ríos						
		Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 1998	NOM-001 ECOL 1996 Uso en riego agrícola (A)		NOM-001 ECOL 1996 Uso público urbano (B)		NOM-001 ECOL 1996 Protección de la vida acuática (C)	
		PM	PM	PD	PM	PD	PM	PD
Contaminantes básicos	Temperatura (°C) (1)	CNCR + 2.5	NA	NA	40	40	40	40
	pH (unidades)	5-10	5-10					
	Grasas y aceites (2)	15	15	25	15	25	15	25
	Sólidos suspendidos totales	75	150	200	75	125	40	60
	DBO ₅	75	150	200	75	150	30	60
	Nitrógeno total	40	40	60	40	60	15	25
	Materia flotante (3)	Ausente						
	Fósforo total	20	20	30	20	30	5	10
	Sólidos sedimentables (mL/L)	1	1	2	1	2	1	2
Metales pesados y cianuros totales	Arsénico	0.1	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2
	Cadmio	0.1	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2
	Cianuros	1	2	3	1	2	1	2
	Cobre	4	4	6	4	6	4	6
	Cromo	0.5	1	1.5	0.5	1	0.5	1
	Mercurio	0.005	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01
	Níquel	2	2	4	2	4	2	4
	Plomo	0.2	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4
	Zinc	10	10	20	10	20	10	20

Relación de parámetros requeridos por las autoridades competentes en materia de contaminación de agua

NOTA: PM= promedio mensual; PD= promedio diario; CNCR = condiciones naturales del cuerpo receptor; (B) y (C) = Tipo de cuerpo receptor según la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua - = No es aplicable; (1) = Instantáneo; (2) = Muestra simple promedio ponderado; (3) = Ausente según el método de prueba definido en la NMX-AA-006. Para determinar la contaminación por patógenos se tomará como indicador a los coliformes fecales. El límite máximo permisible para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, así como las descargas vertidas a suelo (riego agrícola) es de 1000 y 2000 como número más probable (NMP) de coliformes fecales por cada 100 mL para el promedio mensual y diario, respectivamente. Para determinar la concentración por parásitos, se tomará como indicador los huevos de helminto. El límite máximo permisible para las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola), es de un huevo de helminto por litro para riego restringido, y de cinco huevos de helminto para riego no restringido, lo cual se llevará a cabo de acuerdo a la técnica establecida en el anexo de la norma NOM-001-ECOL-1996.

Puntos deseables

Para el conocimiento detallado de un determinado cuerpo de agua, es necesario efectuar un muestreo y análisis detallado de su calidad. Usualmente se establece la determinación de toma de muestra en aquellas partes que, de manera lógica, implican una transformación de la calidad del agua dentro de una serie o secuencia de aportes. Normalmente, dicho muestreo incluye la toma de muestras en múltiples puntos, mediante los cuales se busca obtener la mayor información posible a lo largo, a lo ancho y profundo del cuerpo de agua en estudio. De manera práctica, lo anterior se traduce, en primer término, en la inclusión de abundantes muestras tanto en las partes distales, como en puntos intermedios de interés en los cuales exista la posible mezcla de corrientes.

Aunque este tipo de muestreo resulta útil para la detección de posibles aportes tanto de aguas limpias, como de aguas contaminadas, es necesario que se realice cuidadosamente a efecto de no caer en aspectos poco prácticos y costosos, de los cuales la información obtenida no justifique su aplicación.

Frecuencia en el muestreo

La frecuencia para la toma de muestras esta estrechamente asociada con la propia naturaleza del embalse, es decir, en la medida que dicho cuerpo de agua sea poco cambiante (estable) el número de muestras requeridas para conocer su calidad a lo largo del tiempo resulta menor y viceversa. Por consiguiente, es necesario o, por lo menos deseable, contar con datos históricos sobre el cuerpo de agua en estudio, los perfiles de altura, el volumen transportado y los datos de calidad existentes. De no ser esto posible, la frecuencia de muestreo se establece únicamente en función del tiempo disponible para la realización del estudio, pudiéndose fraccionar arbitrariamente de manera azarosa o dirigida. Es importante indicar que la frecuencia debe, preferentemente, cubrir diferentes fechas a lo largo del año para poder obtener datos de, por lo menos, las estaciones de lluvias y de secas.

Criterios adoptados para la selección de puntos de aforo

Debido a la dificultad que implica la medición del agua contenida en un determinado cuerpo (río o lago), surge la necesidad de estimar ésta mediante el uso de técnicas de aforo. Existen diferentes procedimientos para su realización teniendo como puntos comunes la ponderación del volumen en un determinado

Cuadro 3

	Parámetros (en mg L ⁻¹ , excepto cuando se especifique)	Embalses naturales y artificiales				
		LFDMA 1998	NOM-001 1996. Uso en riego agrícola (B)		NOM-001 ECOL 1996. Uso público urbano (C)	
		PM	PM	PD	PM	PD
Contaminantes básicos	Temperatura (°C) (1)	CNCR + 2.5	40	40	40	40
	pH (unidades)	5-10	5-10			
	Grasas y aceites (2)	15	15	25	15	25
	Sólidos suspendidos totales	75	75	125	40	60
	DBO ₅	75	75	150	30	60
	Nitrógeno total	40	40	60	15	25
	Materia flotante (3)	-	Ausente			
	Fósforo total	20	20	30	5	10
	Sólidos sedimentables (mL/L)	1	1	2	1	2
Metales pesados y cianuros totales	Arsénico	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2
	Cadmio	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2
	Cianuros	1	1	2	1	2
	Cobre	4	4	6	4	6
	Cromo	0.5	0.5	1	0.5	1
	Mercurio	0.005	0.005	0.01	0.005	0.01
	Níquel	2	2	4	2	4
	Plomo	0.2	0.2	0.4	0.2	0.4
	Zinc	10	10	20	10	20

Límites máximos permisibles para contaminantes básicos, metales pesados y cianuros para embalses naturales y artificiales

LFDMA= Ley federal de derechos en materia de agua. Nota: PM= promedio mensual; PD= promedio diario; CNCR = condiciones naturales del cuerpo receptor; (B) y (C) = Tipo de cuerpo receptor según la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua - = No es aplicable; (1) = Instantáneo; (2) = Muestra simple promedio ponderado; (3) = Ausente según el método de prueba definido en la NMX-AA-006.

tiempo. Entre los principales procedimientos aplicables se encuentran, para el caso de ríos y arroyos, el uso de equipos de ultrasonido, sección-velocidad, área hidráulica velocidad, directo por llenado, molinetes y medidores totalizadores. En el caso de estanques y lagos, es necesario obtener los datos batimétricos del cuerpo de agua, a partir de los cuales se podrá calcular su volumen total en un tiempo dado.

Al igual que en el punto anterior, la realización de este tipo de actividades deben ser definir las de manera acertada.

Puntos de aforo indispensables. La determinación de este tipo de puntos se lleva al cabo pensando en los puntos mínimos indispensables requeridos para conocer el volumen total del agua. En este sentido, frecuentemente se contemplan la(s) entrada(s) y salida(s) de agua en un determinado tiempo, así como el cambio en el nivel de profundidad de dichos cuerpos. Este tipo de actividades implica el reconocimiento previo de la zona de estudio y/o el contar con antecedentes documentales al respecto.

Puntos de aforo deseables. Para el conocimiento detallado del flujo de agua dentro de un determinado ecosistema acuático, es deseable efectuar un muestreo y análisis cuidadoso de la calidad de agua. Por tal motivo, los puntos de muestreo a establecer deben ubicarse en todas aquellas partes que, de manera lógica, implican un cambio en el volumen del agua que entra o sale del cuerpo acuático en estudio. En algunos casos, dicho muestreo requiere de mucho ingenio para poder obtener datos útiles. De manera práctica, lo anterior se traduce, en el empleo de suficiente personal para la toma manual de aforos con una periodicidad tal que permita evaluar los posibles cambios de volumen a diferentes horas del día, en cada día de la semana, a lo largo de los doce meses del año. Dado lo ardua que sería esta labor, frecuentemente se opta por el empleo de equipos automatizados, lo cual resulta oneroso.

Frecuencia

La frecuencia para la medición de aforos esta estrechamente asociada con el propio cuerpo que se desee estudiar. En el caso de ríos, algunas variables de interés son su nivel de profundidad y anchura en la sección seleccionada para aforo. En el caso de lagos, su profundidad, así como el flujo de entrada y salida de agua, son variables de interés. Es decir, en la medida que sea poco cambiante, el número de muestras requeridas para conocer su calidad y volumen o flujo, a lo largo del tiempo, resulta menor y viceversa. Por consiguiente, es importante contar con datos históricos al respecto. De no ser esto posible, la frecuencia de los aforos se establece en función de los recursos económicos y materiales disponibles, tomando en cuenta para ello los puntos de aforo considerados como indispensables.

Criterios para la selección de parámetros analíticos

Dado lo poco práctico que resulta la medición de la totalidad de los posibles parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de una determinada muestra de agua,

comúnmente se determinan solo aquellos que de manera lógica influyan directamente sobre el cuerpo de agua muestreado, o bien, sean especificados por el cliente o autoridad competente. Al respecto, es necesario llevar acabo su determinación mediante los procedimientos establecidos oficialmente en las Normas Mexicanas (NMX) aplicables, las cuales se encuentran indicadas en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996. Dichos procedimientos son los legalmente considerados en la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua, para el establecimiento de sanciones por descargas y/o restricciones para su uso (CNA, 1998).

De manera convencional se ha establecido una clasificación de los parámetros fisicoquímicos y biológicos útiles de conocer en una determinada muestra de agua, dividiéndolos en parámetros de campo (p.e. temperatura, pH y oxígeno disuelto) y parámetros de laboratorio (sólidos en sus diferentes formas, demanda bioquímica de oxígeno, metales y coliformes totales o fecales) (Eckblad, 1978; Lind, 1974; Ros, 1979; Tortorelli y Hernández, 1995). Dicha división obedece, por un lado a la impostergabilidad de su realización y, por otro, a la facilidad para llevarla al cabo.

De no efectuarse con este tipo de procedimientos, los datos obtenidos dejarían de ser útiles (confiables y legalmente aceptables) y no podrían ser empleados para avalar la detección de posibles fallas o puntos de mejora y, en segundo término, el establecimiento del nivel real de contaminantes presentes en el agua tomada como suministro, presente en diferentes partes del proceso, o bien, en la descargada como agua residual (Tortorelli y Hernández, 1995).

Al igual que en los puntos anteriores, la realización de este tipo de actividades requieren comúnmente equilibrarse entre lo necesario, lo deseable, lo económicamente viable y lo técnicamente factible. En consecuencia la definición del tipo de parámetros requeridos dependerá de los objetivos y recursos programados para ello.

Métodos de muestreo

Muestreo manual

En la toma manual de muestras se supone que no se utiliza equipo alguno o en caso de ser necesario dicho equipo resulta mínimo. Este procedimiento puede ser demasiado costoso en tiempo y dinero, así como de manejo dispendioso cuando se emplea en programas de toma rutinaria de muestras o en muestreos a gran escala.

Muestreo automático

Mediante la toma automática de muestras se pueden eliminar los errores humanos inherentes a la toma de muestras, se reducen los costos laborales y se posibilita la toma de muestras con mayor frecuencia, por lo que su uso está cada vez más extendido. Es preciso comprobar que el aparato automático no contamine la muestra. Al respecto, es necesario consultar al fabricante del equipo a efecto de contar con la información de las posibles incompatibilidades. Los aparatos automáticos se programan de acuerdo con las necesidades específicas. Es necesario controlar con precisión la velocidad de bombeo y el tamaño de los tubos según el tipo de muestra que se desee recoger.

Envases de las muestras

El tipo de envase a utilizar es de suma importancia. En general, los envases están hechos de vidrio o plástico (Cuadro 4). El uso de uno u otro depende de cada caso. Por ejemplo, el sílice y el sodio pueden lixivarse en el vidrio pero no en el plástico; los metales pueden dejar residuos adsorbidos en las paredes de los envases de vidrio. Existen algunas recomendaciones como las siguientes:

Para muestras que contienen compuestos orgánicos, resulta conveniente evitar los envases plásticos, salvo los fabricados con polímeros fluorados como el politetrafluoretileno (PTFE).

Cuadro 4

Determinación	Recipiente	Volumen mínimo	Preservación	Almacenamiento máximo
Acidez	P, V	100	Refrigerar	14 d
Alcalinidad	P, V	200	Refrigerar	14 d
Boro	P, V	100	No requiere	6 meses
Bromuro	P, V	100	No requiere	28 d
Carbono orgánico total	P, V	100	Análisis inmediato o refrigerar y agregar H_3PO_4 o H_2SO_4 hasta $pH < 2$	28 d
Cianuro total	P, V	500	Agregar NaOH hasta $pH < 12$ refrigerar	

Recomendaciones para el muestreo y preservación de muestras (tomado de APHA, 1995; Suess, 1982)

Cuadro 4 (continuación)

Determinación	Recipiente	Volumen mínimo	Preservación	Almacenamiento máximo
Cianuro clorable	P, V	500	Agregar 100 mg $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3/\text{L}$	14 d
Cloro residual	P, V	500	Análisis inmediato	0.5 h/ inmediato
Clorofila	P, V	500	30 días en oscuridad	30 d
Cloruro	P, V	50	No requiere	28 d
Color	P, V	500	Refrigerar	48 h
Compuestos orgánicos				
Substancias activas al azul de metileno	P, V	250	Refrigerar	48 h
Plaguicidas	P, V	1000	Refrigerar; agregar 1g ácido ascórbico/L si hay cloro	7 días hasta la extracción
Fenoles	P, V	500	Refrigerar; agregar H_2SO_4 hasta $\text{pH} < 2$	40 días después de extraer
DBO	P, V	500	Refrigerar	48 h
DQO	P, V	100	Analizarlo refrigerar y agregar H_2SO_4 hasta $\text{pH} < 2$	28 días
Conductividad	P, V	500	Refrigerar	28 d
Dióxido de carbono	P, V	100	Análisis inmediato	-
Dióxido de cloro	P, V	500	Análisis inmediato	-
Dureza	P, V	100	Agregar HNO_3 hasta $\text{pH} < 2$	6 meses
Fluoruro	P	300	No requiere	28 d
Fosfato	V(A)	100	Para fosfato disuelto filtrar inmediatamente; refrigerar	48 h
Grasas y aceites	V boca ancha, calibrado	1000	Agregar HCl hasta $\text{pH} < 2$, refrigerar	28 d
Metales en general	P(A), V(A)	500	Filtrar, agregar HNO_3 hasta $\text{pH} < 2$	6 meses
Cromo VI	P(A), V(A)	300	Refrigerar	24 h

Recomendaciones para el muestreo y preservación de muestras (tomado de APHA, 1995; Suess, 1982)

Cuadro 4 (continuación)

Determinación	Recipiente	Volumen mínimo	Preservación	Almacenamiento máximo
Cobre, colorimetría	P(A), V(A)	500	Agregar HNO ₃ hasta pH < 2, 4°C, refrigerar	28 d
Mercurio	P(A), V(A)	500	Agregar HNO ₃ hasta pH < 2, 4°C, refrigerar	28 d
Nitrógeno				
Amoniaco	P, V	500	Agregar H ₂ SO ₄ hasta pH < 2, refrigerar	28 d
Nitrato	P, V	100	Analizar lo más pronto posible o refrigerar	48 h (28 d para muestras cloradas)
Nitrato + nitrito	P, V	200	Agregar H ₂ SO ₄ hasta pH < 2, refrigerar	28 d
Nitrito	P, V	500	Analizar lo más pronto posible o refrigerar	48 h
Orgánico Kjeldhal	P, V	500	Agregar H ₂ SO ₄ hasta pH < 2, refrigerar	28 d
Olor	V	500	Analizar lo más pronto posible o refrigerar	-
Oxígeno disuelto				
Electrodo	V	300	Analizar inmediatamente	-
Winkler	V	300	Puede retrasarse la titulación después de la acidificación	8 h
Ozono			Análisis inmediato	-
pH			Análisis inmediato	-
Sabor	V	500	Analizar lo más pronto posible o refrigerar	-
Salinidad	V, sello de cera	240	Análisis de inmediato o usar sello de cera	-

Recomendaciones para el muestreo y preservación de muestras (tomado de APHA, 1995; Suess, 1982)

Cuadro 4 (continuación)

Determinación	Recipiente	Volumen mínimo	Preservación	Almacenamiento máximo
Sílica	P	200	Refrigerar, no congelar	28 d
Sólidos	P, V	200	Refrigerar	2 – 7 d
Sulfatos	P, V	100	Refrigerar	28 d
Sulfuro	P, V	10	Refrigerar	7 d
Temperatura	P, V	-	Análisis inmediato	-
Turbidez	P, V	100	Analizar el mismo día. Para más de 24 h guardar en oscuridad; refrigerar	48 h
Yodo	P, V	500	Análisis inmediato	-

Recomendaciones para el muestreo y preservación de muestras (tomado de APHA, 1995; Suess, 1982)

NOTA: P= Plástico (polietileno o equivalente); P(A)= Plástico enjuagado con HNO₃; V= Vidrio; V(A)= vidrio enjuagado con HNO₃.

Para muestras que contienen compuestos orgánicos volátiles, COVs, semivolátiles, plaguicidas, PCB's, aceites y grasas, es preferible la utilización de envases de vidrio, ya que los envases de plástico pueden resultar porosos para este tipo de compuestos. Como resultado del contacto, los COVs pueden disolverse en las paredes del envase plástico o incluso lixiviar sustancias de este material, provocado que eventualmente se degraden o se rompan. Cabe señalar que existen ciertos plásticos que pueden ser compatibles con algunos COVs, no obstante se requiere revisar las instrucciones del fabricante. En cuanto a los tapones de los envases, cuando son de plástico pueden originar problemas por lo cual se recomienda el uso de tapones de metal o de PTFE. Para situaciones críticas, es adecuada la inclusión de un blanco del recipiente para demostrar la ausencia de interferencias.

Precauciones generales

Uno de los requerimientos básicos en el programa de muestreo es una manipulación ausente de procesos de deterioro o de contaminación antes de iniciar los análisis en el laboratorio. En el muestreo de aguas, antes de coleccionar la muestra es necesario

purgar el recipiente dos o tres veces, a menos que contenga agentes preservativos (APHA, 1995). Dependiendo del tipo de determinación, el recipiente se llena completamente (ésto para la mayoría de las determinaciones de compuestos orgánicos), o se deja un espacio para aireación o mezcla (por ejemplo en análisis microbiológicos); si el recipiente contiene preservativos no puede ser rebosado, ya que ocasionaría una pérdida por dilución. Excepto cuando el muestreo tiene como objetivo el análisis de compuestos orgánicos, se debe dejar un espacio de aire equivalente a aproximadamente 1% del volumen del recipiente, para permitir la expansión térmica durante su transporte.

Cuando las muestras colectadas contienen compuestos orgánicos o metales traza, se requieren precauciones especiales, debido a que muchos constituyentes están presentes en concentraciones de unos pocos miligramos por litro y se puede correr el riesgo de una pérdida total o parcial, si el muestreo no se ejecuta con los procedimientos precisos para la adecuada preservación.

Colecta de muestras de agua superficial

En este inciso, se describirán algunos de los aspectos más relevantes sobre el muestreo relacionado con cuerpos de agua superficial. Al respecto, resulta sumamente útil, en la colecta de muestras representativas de ríos, arroyos, estanques y lagos, considerar las siguientes reglas generales:

1. Tener cuidado de posibles inundaciones repentinas. Si un evento de inundación es probable, pero es necesario obtener la muestra, tome las medidas de seguridad necesarias, incluida la de hacerse acompañar de por lo menos otra persona, así como de ubicar una ruta fácil de escape.
2. Seleccione una localización de muestreo en o cerca de una estación de aforo para que se pueda relacionar la descarga del río con la muestra de la calidad del agua: Si no existe una estación de aforo, mida la velocidad de flujo en la hora de muestreo.
3. Ubique un canal derecho y uniforme para muestrear.
4. A menos que se especifique en el plan de muestreo, evite localizaciones de muestreo al lado de confluencias o fuentes “punto” de contaminación.
5. Use puentes o botes para ríos y lagos profundos en donde andar en el agua resulte peligroso o no práctico.
6. No colecte muestras a lo largo de las orillas, a menos que el plan de muestreo lo especifique, ya que de lo contrario las muestras pueden no ser representativas de todo el cuerpo de agua.
7. Use guantes apropiados para la colecta de la muestra.

Muestreo de ríos y arroyos

La colecta en ríos y arroyos involucra el transporte de todos los artículos necesarios para la estimación de la calidad de agua, la colecta de apuntes de campo, instalación de instrumentación y equipo de filtración, envases de muestreo y utensilios para el lavado de material y equipo cerca del canal.

El primer paso es medir los parámetros de campo y luego el flujo del río o arroyo. Después de la colecta y preservación de las muestras (en frascos previamente etiquetados), lave y guarde el equipo empleado.

- a. Parámetros de campo. Mida y anote los valores correspondientes a las lecturas de temperatura, pH, conductividad y oxígeno disuelto, en una sección de río o arroyo no perturbada. Si desea, puede medir parámetros adicionales.
- b. Aforo de ríos y arroyos. Mida la velocidad de flujo de agua en el punto previamente seleccionado. Ese parámetro permitirá estimar la carga de contaminación y otros impactos.

El procedimiento normalmente seguido consiste en ubicar una sección transversal, a manera de un canal derecho, uniforme y relativamente libre de rocas y vegetación, de tal manera que el flujo sea uniforme, libre de remolinos, aguas lentas y turbulencia excesiva.

Después de haber ubicado la sección transversal, determine el ancho y la profundidad del río o arroyo. La medición de la velocidad de flujo se hace en varios puntos a lo largo de la sección seleccionada. Para ello, primero se mide a 0.8 m y luego a 0.2 m de la distancia de la superficie y se obtiene el promedio para ese punto. Para los puntos subsecuentes, río abajo, se sigue el mismo procedimiento. Una vez que la velocidad, profundidad y distancia de la sección transversal hayan sido determinadas, se puede utilizar el método de “sección mediana” para determinar el flujo total y poder establecer así el valor del flujo en litros por segundo.

- c. Muestreo compuesto. El muestreo compuesto tiene como objetivo el producir una muestra representativa de la calidad del agua del flujo total en la estación de muestreo. Al respecto, debe recordarse que es posible obtener la muestra de manera manual o automática, según convenga.
- d. Muestreo simple instantáneo. El muestreo simple instantáneo se realiza cuando la mezcla uniforme del canal del río o arroyo hace el muestreo compuesto innecesario; cuando se desean muestras de punto; cuando la pérdida de los gases de la muestra es posible, o cuando el agua no es demasiado profunda para usar el muestreo compuesto.

Muestreo de estanques y lagos

La determinación representativa de la calidad de agua en embalses a veces requiere que se tomen muestras en más de una localidad. Estas ubicaciones dependerán de los objetivos del programa de muestreo, el impacto de las fuentes locales de contaminación, y el tamaño del cuerpo de agua (Murgel, 1984; Ryding y Rast, 1989).

Parámetros de campo. Se determinan los mismos parámetros establecidos para ríos y arroyos con objeto de evaluar la variabilidad y estratificación tridimensional de la calidad de agua en estanques, lagos y manantiales grandes. En caso de contar con una barca o lancha, es importante medir el cambio de los parámetros de campo a todo lo largo de la columna de agua, tomando nota de la profundidad a la que se haga cada lectura. En caso de que el cuerpo de agua esté estratificado, debe anotarse la profundidad y espesor de la capa de arriba (epilimnion), la zona de transición (metalimnion), y la capa de abajo (hipolimnion). En caso de no contar con una lancha o barca, como última opción se deben tomar muestras en puntos accesibles a lo largo de la orilla.

- a. Muestreo en los bordes de lagos. Cuando no hay bote o lancha disponible, la muestra se colecta de la superficie de la orilla de los lagos empleando para ello frascos (limpios) de vidrio de 500 mL, el cual deberá estar etiquetado o etiquetarse una vez tomada la muestra.
- b. Muestreo a distancia de los bordes. Se pueden obtener muestras de agua de lagos y estanques mediante el uso de botellas de Van Dor. También es posible, utilizar bombas peristálticas con mangueras adaptadas para la profundidad deseada. En este sentido, es importante considerar el tipo de materiales del que están fabricadas a efecto de emplear materiales compatibles con los parámetros que se van a analizar. No obstante, que los muestreadores estén limpios, es recomendable enjuagarlos con agua del cuerpo de agua a muestrear. Es ampliamente recomendable empezar por la zona de más baja contaminación y terminar por la de más alta contaminación (por ejemplo, tomar primero muestras de la superficie y al último las del fondo). En caso de tomar muestras de clorofila, no debe lavarse el recipiente empleado para el muestreo con ácido, ya que el ácido destruye rápidamente la clorofila (Ryding y Rast, 1989; Bartram y Ballance, 19962).

En lagos poco profundos en donde presumiblemente la concentración de oxígeno está moderadamente uniforme con la profundidad, es recomendable sacar la muestra de la parte central y una profundidad de 30 centímetros.

En lagos profundos, en los que es altamente probable una estratificación, deben obtenerse un mínimo de tres muestras a diferentes profundidades: a 30 centímetros por debajo de la superficie; arriba del hipolimnion, y otra en la base del hipolimnion, aproximadamente 1 metro arriba del fondo. En esta última muestra es necesario tomar precauciones para evitar mezclar el sedimento con la muestra (Lind, 1974; Murgel, 1984).

No olvidar hacer las anotaciones pertinentes tanto en las etiquetas como en la libreta de campo, tales como valores de parámetros fisicoquímicos, ubicación, y profundidad de cada una de las muestras.

Tiempo de muestreo

El tiempo del muestreo dependerá de diversos factores tales como el objetivo del muestreo y las características particulares del cuerpo de agua.

Tipos de muestras

Considerando que para un cuerpo de agua, una muestra representa una porción de su totalidad, es posible entonces, cuando la muestra es representativa, conocer la composición de ese cuerpo de agua original para un determinado tiempo y bajo las circunstancias particulares en las que se realizó su captación. Cuando se requiere conocer con mayor detalle el comportamiento de un cuerpo de agua, es necesario saber información antecedente que permita ubicarlo como un cuerpo relativamente constante o cambiante, esto a efecto de seleccionar más adecuadamente el tipo de muestra a obtener (APHA, 1995). En este sentido, es posible dividir el tipo de muestras a obtener en tres: Simples, compuestas e integradas.

Muestras simples

Las muestras simples, conocidas también como puntuales, consisten en obtener una muestra continua que refleje cualitativa y cuantitativamente la calidad del cuerpo de agua muestreado. Se recomienda su obtención cuando la composición de la fuente es relativamente constante a través de un tiempo prolongado o a lo largo de distancias considerables en todas las direcciones. Esta característica permite suponer que la muestra obtenida bajo tales circunstancias, representa un

intervalo de tiempo o un volumen más extenso. En este contexto, un cuerpo de agua puede estar adecuadamente representado por muestras simples, como en el caso de aguas superficiales y aguas de suministro, pocas veces de efluentes residuales.

Cuando se sabe que un cuerpo de agua varía con el tiempo, las muestras simples tomadas a intervalos de tiempo precisados, y analizadas por separado, deben registrar la extensión, frecuencia y duración de las variaciones. Es necesario escoger los intervalos de muestreo de acuerdo con la frecuencia esperada de los cambios, que pueden variar desde tiempos tan cortos como 5 minutos, hasta 1 hora o más. Las variaciones estacionales en sistemas naturales pueden necesitar muestreos de varios meses. Cuando la composición de las fuentes varía en el espacio más que en el tiempo, se requiere tomar las muestras en los sitios apropiados.

Muestras compuestas

En la mayoría de los casos, el término “muestra compuesta”, se refiere a una combinación de muestras simples o puntuales tomadas en el mismo sitio durante diferentes tiempos. La mayor parte de las muestras compuestas, se emplean para conocer las concentraciones promedio, usadas para calcular las respectivas cargas o la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales. El uso de muestras compuestas representa un ahorro sustancial en costo y esfuerzo, comparativamente con el análisis por separado de un gran número de muestras y su consecuente cálculo de promedios.

Para éstos propósitos, la mayoría de determinaciones se considera estándar una muestra compuesta que representa un período de 24 horas. Sin embargo, bajo otras circunstancias puede ser preferible una muestra compuesta que represente un cambio, o un menor lapso, o un ciclo completo de una operación periódica. Para evaluar los efectos de descargas y operaciones variables o irregulares, se requiere tomar muestras compuestas que representen el periodo durante el cual ocurren tales descargas.

No se deben emplear muestras compuestas para la determinación de componentes o características sujetas a cambios significativos e inevitables durante el almacenamiento. Tales determinaciones deben hacerse en muestras individuales, lo más pronto posible después de la toma y preferiblemente en el sitio de muestreo. Ejemplos de este tipo de determinaciones son: gases disueltos, cloro residual, sulfuros solubles, temperatura y pH. Los cambios en componentes como algunos constituyentes inorgánicos, tales como el hierro, manganeso, alcalinidad o dureza pueden ser analizados en muestras compuestas. Las muestras compuestas en el tiempo se

pueden usar para determinar solamente los componentes que permanecen sin alteraciones bajo las condiciones de toma de muestra, preservación y almacenamiento.

Es posible tomar porciones individuales del cuerpo de agua en estudio en botellas de boca ancha cada hora (en algunos casos cada media hora o incluso cada 5 minutos) y mezclarlas al final del periodo de muestreo, o combinarlas en una sola botella, de tal manera que todas las proporciones de la composición sean preservadas tan pronto como se recolectan. Algunas veces es necesario el análisis de muestras individuales.

Es deseable, y a menudo esencial, combinar las muestras individuales en volúmenes proporcionales al caudal. Para el análisis de aguas residuales y efluentes, por lo general es suficiente un volumen final de muestras de 2 a 3 L. Para este propósito existen muestreadores automáticos, que no deben ser empleados a menos que la muestra sea preservada. Es conveniente limpiar los equipos y las botellas diariamente, para eliminar el crecimiento biológico y cualquier otro depósito.

Muestras integradas

Para ciertos propósitos, es mejor analizar mezclas puntuales tomadas simultáneamente en diferentes puntos (muestreo en espacio), o lo más cercanas posibles. Un ejemplo de la necesidad de muestreo integrado ocurre en ríos o corrientes que varían en composición a lo ancho y profundo de su cauce. Para evaluar la composición promedio o la carga total, se usa una mezcla de muestras que representan varios puntos de la sección transversal, en proporción a sus flujos relativos. La necesidad de muestras integradas también se puede presentar si se propone un tratamiento combinado para varios efluentes residuales separados, cuya interacción puede tener un efecto significativo en la tratabilidad o en la composición. La predicción matemática puede ser inexacta o imposible, mientras que la evaluación de una muestra integrada puede dar información más útil.

Los lagos naturales y artificiales muestran variaciones de composición según la localización horizontal y la profundidad; sin embargo, éstas son condiciones bajo las cuales las variaciones locales son más importantes mientras que los resultados promedio y totales son especialmente útiles. En tales casos se deben examinar las muestras separadamente antes que integrarlas.

La preparación de muestras integradas requiere generalmente de equipos diseñados para tomar muestras de una profundidad determinada sin que se contaminen con la columna de agua superior. Generalmente se requiere conocer el volumen, movimiento, y composición, de varias partes del cuerpo de agua a ser

estudiado. La toma de muestras integradas es un proceso complicado y especializado que se debe describir adecuadamente en el plan de muestreo.

Número y cantidad de muestra

Las muestras representativas se pueden obtener sólo colectando muestras compuestas en períodos predeterminados o en diferentes puntos de muestreo; las condiciones de recolección varían con las localidades y no existen recomendaciones específicas que puedan ser aplicables en forma general. Algunas veces es más informativo analizar varias muestras en forma separada en lugar de obtener una muestra compuesta, ya que es posible observar su variabilidad, los valores máximos y mínimos (APHA, 1995).

Como se mencionó anteriormente, en términos generales, la muestra colectada debe asegurar que los resultados analíticos obtenidos representan la composición actual de la misma. Los siguientes factores afectan los resultados: Presencia de material suspendido o turbidez; el método seleccionado para su remoción; los cambios fisicoquímicos en el almacenamiento o por aireación. Por consiguiente, es necesario disponer de los procedimientos detallados (como filtración, sedimentación, etc.) a los que se van a someter las muestras antes de ser analizadas, especialmente si se trata de metales traza o compuestos orgánicos en concentraciones traza. En algunas determinaciones como los análisis para plomo, éstos pueden ser invalidados por la contaminación que se puede presentar en tales procesos. Cada muestra debe ser tratada de forma individual, teniendo en cuenta las sustancias que se van a determinar, la cantidad y naturaleza de la turbidez presente y cualquier otra condición que pueda influenciar los resultados.

La selección de la técnica para recolectar una muestra homogénea debe ser definida en el plan de muestreo. Generalmente, se separa cualquier cantidad significativa de material suspendido por decantación, centrifugación o un procedimiento de filtración adecuado. Para el análisis de metales la muestra puede ser filtrada o no, o bien, aplicar ambas si lo que se busca es diferenciar el total de metales de aquellos que solamente están presentes en la matriz de forma disuelta.

Número de muestras

Teniendo en cuenta las variaciones aleatorias, tanto de los procedimientos analíticos, como en la presencia de componentes en el lugar de la toma de muestra, una sola de ellas puede resultar insuficiente para alcanzar el nivel de certidumbre deseado. Si se conoce la desviación estándar global, el número necesario de muestras puede calcularse con la siguiente fórmula.

Curvas como las presentadas en la Figura 1, ayudan a hacer el cálculo del número de muestras requerido. Por ejemplo, si $s = 0.5$ mg/L, $U = \pm 0.2$ mg/L y se desea un nivel de confianza del 95%, es necesario tomar de 25 a 30 muestras (Wilson, 1982; APHA, 1995).

$$N = \frac{ts^2}{U}$$

Donde:

N = Número de muestras

t = t de Student para un nivel de confianza determinado

s = desviación global estándar, y

U = nivel de incertidumbre aceptable

Al respecto, es necesario recordar que el volumen de muestra a coleccionar debe ser suficiente y en el recipiente adecuado, de tal manera que permita hacer las mediciones previstas de acuerdo con los requerimientos de manejo, almacenamiento y preservación. En el cuadro 4, se muestran los volúmenes habituales necesarios para análisis. Debe precisarse que no debe usarse la misma muestra para estudios químicos (orgánicos e inorgánicos), bacteriológicos y microscópicos, pues los métodos de toma y manipulación de las mismas son distintos.

Manejo y conservación de muestras

Cadena de custodia

El proceso de control y vigilancia del muestreo, preservación y análisis (procedimiento de cadena de custodia), es esencial para asegurar la integridad de la muestra desde su recolección hasta el reporte de los resultados. Incluye la actividad de seguir o monitorear las condiciones de toma de muestra, preservación, codificación, transporte y su posterior análisis. Este proceso es básico e importante para demostrar el control y confiabilidad de la muestra no sólo cuando hay un litigio involucrado, sino también para el control de rutina de las muestras. Se considera que una muestra está bajo la custodia de una persona, si está bajo su posesión física individual, a su vista, y en un sitio seguro. Los siguientes procedimientos resumen los principales aspectos de control y vigilancia de las muestras (Lind, 1974; DOF, 1980; APHA, 1995; Muñoz, 1996).

Etiquetas. Para prevenir confusiones en la identificación de las muestras, pegar al frasco de la muestra antes de o en el momento del muestreo, papel engomado o etiquetas adhesivas en las que se anote, con tinta a prueba de agua, por lo menos la siguiente información: número de muestra, nombre del recolector, fecha, hora y lugar de su recolección, y preservación realizada.

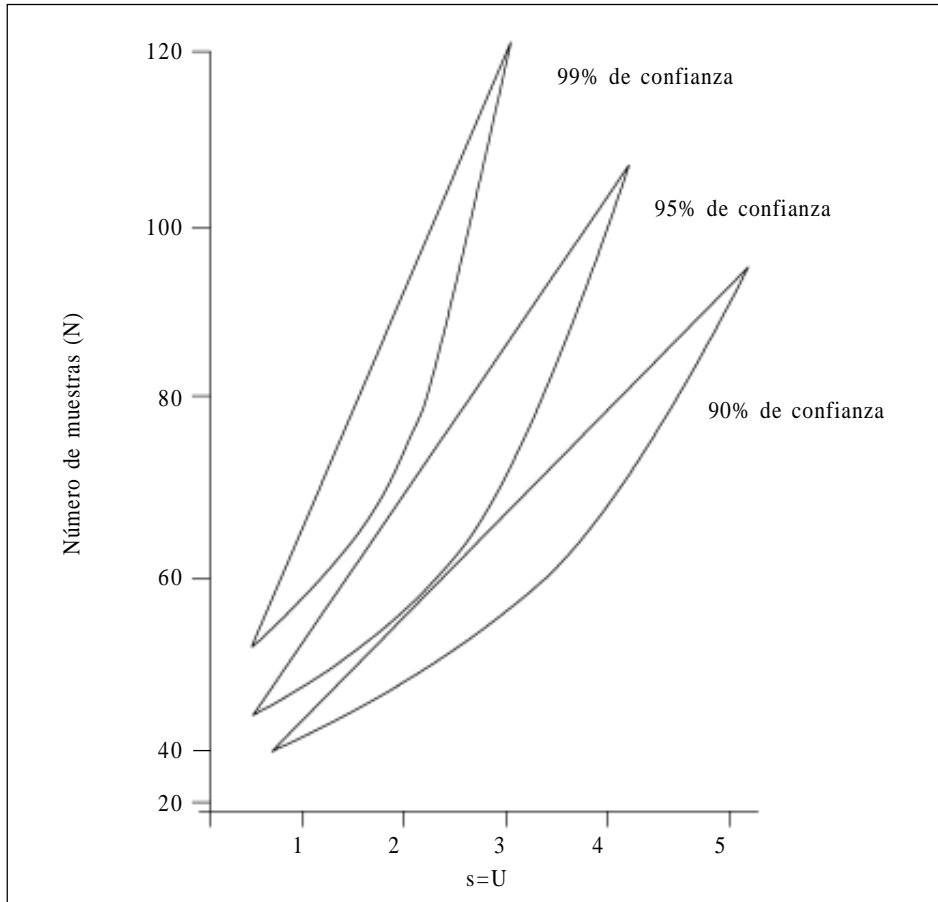
Sellos. Para evitar o detectar adulteraciones de las muestras. Sellar los recipientes con papel autoadhesivo, en los que se incluya por lo menos la siguiente información: Número de muestra, (idéntico al número de etiqueta), nombre del recolector, fecha y hora del muestreo; también son útiles los sellos de plástico encogible. Adherir el sello de tal manera que sea necesario romperlo para abrir el recipiente de la muestra, después de que el personal que tomó la muestra ceda la custodia o vigilancia.

Libro de campo. Es un libro o carpeta exclusiva para el registro de toda la información pertinente a observaciones de campo o de muestreo, la cual debe guardarse siempre en un lugar seguro. Los registros deben incluir mínimamente lo siguiente: Propósito del muestreo, localización de la estación de muestreo, o del punto de muestreo si se trata de un efluente industrial, en cuyo caso se debe anotar la ubicación y responsables de la descarga. Es importante registrar el tipo de muestra obtenida y el método de preservación empleado, cuando proceda. También se requiere describir el punto de muestreo y del método de muestreo; fecha y hora de recolección; números de identificación de los recolectores de la muestra; distribución y método de transporte de la muestra; referencias tales como mapas o fotografías del sitio de muestreo; observaciones y condiciones de campo; y firmas del personal responsable de las observaciones. Debido a que las situaciones de muestreo varían ampliamente, es esencial registrar la información suficiente de tal manera que se pueda reconstruir el evento del muestreo sin tener que confiar en la memoria de los encargados.

Registro del control y vigilancia de la muestra: Revisar el formato de control y vigilancia de cada una de las muestras o grupo de muestras, las cuales deben estar acompañadas de este formato. En el que se incluye la siguiente información: Número(s) de la(s) muestra(s); firma del recolector responsable; fecha, hora y sitio de muestreo; tipo de muestra; firmas del personal participante en el proceso de control, vigilancia y posesión de las muestras y las fechas correspondientes.

Formato de solicitud de análisis. La muestra debe llegar al laboratorio acompañada de una solicitud de análisis; el recolector completa la parte del formato correspondiente a la información de campo anotada en el libro de campo. La parte del formato correspondiente al laboratorio la completa el personal del laboratorio, e incluye: nombre de la persona que recibe la muestra, número de muestra en el laboratorio, fecha de recepción, y las determinaciones a ser realizadas.

Figura 1



Número aproximado de muestras requeridas para estimar una concentración media

Entrega de la muestra en el laboratorio. Las muestras se deben entregar en el laboratorio lo más pronto que sea posible después del muestreo. Dependiendo del tipo de análisis a realizar, existe un tiempo máximo para que se lleve a cabo el análisis y los valores obtenidos sean de utilidad. Al respecto puede consultarse el cuadro 4, con los tiempos recomendados por los métodos estándar americanos (APHA, 1995). Por tal motivo es necesario contar con un plan de almacenamiento y preservación que permita la entrega oportuna de las muestras en el laboratorio. En caso de que las muestras sea enviadas por correo a través de una empresa responsable, se debe incluir el formato de la compañía transportadora dentro de la documentación del control y vigilancia de la muestra. La solicitud del análisis

debe estar acompañada por el registro completo del proceso de control y vigilancia de la muestra. Entregar la muestra a la oficina de recepción en el laboratorio; el recepcionista a su vez debe firmar el formato de vigilancia y control, incluyendo la fecha y hora de entrega.

Recepción y registro de la muestra. En el laboratorio, el recepcionista inspecciona la condición y el sello de la muestra, compara la información de la etiqueta y el sello con el registro o formato del 'proceso de control y vigilancia, le asigna un número o código para su entrada al laboratorio, la registra en el libro del laboratorio, y la guarda en el cuarto o cabina de almacenamiento hasta que le sea asignada a un analista.

Asignación de la muestra para análisis. El coordinador del laboratorio asigna la muestra para su análisis, quedando el analista como responsable del procesamiento, cuidado y vigilancia de la muestra. Los resultados obtenidos se entregarán mediante su respectivo reporte al solicitante.

Conservación de muestras

Dada la naturaleza intrínseca de las muestras de aguas residuales domésticas e industriales, resulta prácticamente imposible su conservación de manera completa e inequívoca. La composición fisicoquímica y microbiológica de dichas muestras impide la completa estabilidad de sus constituyentes. Por tal motivo, en el mejor de los casos, solamente pueden retardarse los cambios químicos y biológicos que, inevitablemente, continúan después de retirar la muestra de su fuente. Algunos puntos de interés a considerar son los siguientes (APHA, 1995):

Naturaleza de los cambios en la muestra.

Los cambios químicos son función de las condiciones físicas y suceden en la estructura de ciertos constituyentes. Por ejemplo, la precipitación de cationes metálicos al formar sus hidróxidos; la formación de complejos; su adsorción en los recipientes que contienen la muestra o su disolución o volatilización conforme pasa el tiempo.

Los cambios biológicos pueden inducir la alteración de la muestra al cambiar la valencia de un elemento o radical. Asimismo, puede haber adsorción de compuestos orgánicos e inorgánicos a estructuras celulares, o bien, la liberación de ese tipo de elementos al presentarse lisis celular. Los cambios más representativos originados por la actividad microbiológica son el incremento o decremento

de valores de demanda bioquímica de oxígeno, cambio en la concentración de compuestos nitrogenados y la reducción de sulfato a sulfuro, entre otros.

Tiempo entre la toma y el análisis de la muestra

Con objeto de que los resultados sean más exactos, es altamente recomendable que el tiempo transcurrido, entre la toma y el análisis de una muestra, sea el mínimo posible. Lo anterior cobra mayor relevancia cuando la concentración del elemento o compuesto a analizar se encuentra presumiblemente en bajas concentraciones ($\mu\text{g/L}$). Cabe señalar que existen algunos constituyentes y parámetros físicos que requieren ser analizados *in situ* como es el caso de la temperatura, pH y oxígeno disuelto. Para muestras compuestas, se debe registrar el tiempo en el momento de finalizar la composición. Es posible retardar los cambios provocados por el crecimiento de los organismos mediante el almacenamiento de las muestras en obscuridad y a baja temperatura (< de 4°C pero sin congelar). Debe recordarse que es importante registrar el tiempo transcurrido hasta el momento del análisis de la muestra, así como la técnica de preservación empleada.

Técnicas de conservación o preservación

Los principales métodos de conservación de muestras incluyen su acidificación o basificación; la adición de compuestos que permitan estabilizar un determinado tipo de constituyente; el empleo de botellas ambar y opacas; refrigeración; filtración y congelamiento. Lo anterior con alguno de los siguientes objetivos: retardar la acción biológica, la hidrólisis de compuestos químicos, la reducción de la volatilidad o adsorción de los constituyentes. Es importante resaltar que comúnmente para hacer diferentes determinaciones en una muestra, es necesario tomar diferentes porciones y preservarlas por separado, debido a que el método de preservación puede interferir con otra determinación. Es decir que no existe un preservador universal.

Consideraciones finales

Como se ha mencionado a lo largo del presente trabajo, la toma y manejo de muestras de aguas superficiales procedentes de ríos, arroyos, estanques y lagos

requiere seguir procedimientos estandarizados apegados en la medida de lo posible a la normatividad nacional aplicable existente, a efecto de que tengan validez legal en caso de así requerirse.

Por otra parte, resulta importante que eventualmente se aborden aspectos relacionados con el muestreo y manejo de muestras de otro tipo de cuerpos de agua de interés regional como serían los esteros, pantanos lagunas costeras y zonas marítimas.

Referencias

- APHA. 1995. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control federation. Nueva York, EUA.
- Bartram J. y Ballance R. 1992. *Water Quality Monitoring. A practical guide to the design and implementation freshwater quality studies and monitoring programmes*. UNEP, WHO y E & FN SPON. Londres, Inglaterra.
- Chapman D. 1992. *Water Quality Assessments*. UNESCO, WHO y UNEP. Chapman & Hall. Londres, Inglaterra.
- CNA. 1998. Ley Federal de Derechos en Materia de Agua. Comisión Nacional del Agua. México D. F. México.
- DOF. 1980. Norma Mexicana NMX-AA-003-1980, Aguas residuales.- Muestreo. Residual Waters Sampling. Diario Oficial de la Federación del 25 de marzo de 1980.
- DOF. 1997. Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Diario Oficial de la Federación del 6 de enero de 1997.
- Eckblad J. W. 1978. *Laboratory Manual of Aquatic Biology*. WCB. EUA.
- Lind O. T. 1974. *Handbook of common methods in Limnology*. Kendall, EUA.
- Mason C. F. 1987. *Biología de la contaminación del agua dulce*. Alhambra. Madrid, España.
- Muñoz R. A. C. 1996. Guía de técnicas de análisis de agua para campo y laboratorio en hidrobiología. Informe de servicio Social. Universidad Autónoma Metropolitana. Xochimilco. México D. F. México.
- Murgel B. S. 1984. Limnología sanitaria, estudio de la polución de aguas continentales. Serie de Biología. Monografía no. 28. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Programa Regional de desarrollo Científico y Tecnológico. Washington DC, EUA.
- Ros J. 1979. *Prácticas de Ecología*. Ediciones Omega. Barcelona, España.
- Ryding S. y Rast W. 1989. *The Control of Eutrophication of Lakes and Reservoirs*. Vol. 1 UNESCO y The Parthenon Publishing Group. París, Francia.

- Suess M. J. 1982. *Examination of Water for Pollution Control*. Vol. 1 WHO/E y Pergamon Press. Londres, Inglaterra.
- Tortorelli M. y Hernández D. 1995. Calidad de agua de un ambiente acuático sometido a efluentes contaminantes. In: Lopretto E. y Tell G. (Eds.). *Ecosistemas de aguas continentales. Metodologías para su estudio*. Ediciones Sur. Argentina.
- Wilson A. L. 1982. Design of sampling programmes. In: Suess M. J. (Ed.). *Examination of water for pollution control*. Pergamon Press. Londres, Inglaterra.

5

CLIMA

Roger Orellana Lanza* y María Engracia Hernández Cerda**

Introducción

Dos herramientas importantes en las investigaciones en ecología y recursos naturales son la climatología y la meteorología. Ambas disciplinas estudian respectivamente el clima y el estado del tiempo. Es innegable la influencia que la atmósfera ejerce sobre los organismos y cómo moldea las comunidades, los ecosistemas y los biomas. En las características climáticas de una región, se encuentran intrínsecas las posibilidades de desarrollo de las interacciones entre organismos. Estas interacciones se pueden entender a partir de los dos principales elementos del tiempo y el clima: la temperatura del aire y la precipitación pluvial. Lo anterior motiva y hace necesario incluir en los estudios mencionados, a la climatología y la meteorología. Es importante incorporar en los métodos de campo las lecturas de variables atmosféricas que dan luces sobre el comportamiento de los organismos, como son las fases fenológicas o bien sobre las potencialidades de los recursos naturales desde la perspectiva climatológica (disponibilidad de agua, biotemperaturas, influencia del viento, etc.).

El clima es el estado más frecuente o promedio de la atmósfera; este varía de un sitio a otro. Cuando nos referimos al clima estamos tomando como referencia el promedio de algunas variables climáticas registradas por muchos años (García 1989, Oliver 1973). La Organización Meteorológica Mundial (OMM) recomendó en 1935 un período uniforme de treinta años para hacer válido este concepto. Posteriormente fue actualizado, como se puede ver en el cuadro 1, donde se encuentran los períodos óptimos para distintas características y regiones.

* Unidad de Recursos Naturales. Centro de Investigación Científica de Yucatán. orellana@cicy.mx

** Departamento de Geografía Física. Instituto de Geografía, UNAM. mehc@servidor.unam.mx

Las variables que comúnmente se utilizan son la temperatura media del aire y la humedad, expresada en cantidad de precipitación pluvial. Estadísticamente se ha considerado que veinte años de lecturas son suficientes para que se tenga un promedio estandarizado (al que se le denomina normal climatológica). La climatología estudia pues como se ha comportado la atmósfera durante un tiempo prolongado. Sin embargo, el clima puede cambiar aunque estos cambios a veces son imperceptibles por los seres humanos. Los elementos del clima son la resultante de la interacción de los factores climáticos: latitud, altitud, orografía, circulación atmosférica, reparto de océanos y continentes y corrientes marinas. Los elementos del clima, son los componentes que lo definen y son, así mismo, las variables a través de las cuales se manifiesta la influencia del clima sobre los demás elementos del medio natural.

Como variables climáticas, los elementos nos permiten definir y caracterizar el clima de una zona y determinar los mecanismos que lo condicionan; como variable ambiental, los elementos climáticos son considerados como recursos o limitantes.

Cuadro 1

Elemento	Islas	Costas	Llanuras	Montañas
Temperatura	10	15	15	25
Humedad	3	6	5	10
Nubosidad	4	4	8	12
Visibilidad	5	5	5	8
Precipitación	25	40	40	50

Periodo óptimo de años de lecturas recomendado por la OMM (tomado de MOPT 1992)

Los elementos o variables climáticas y temporales presentan diversas características, entre las que sobresalen la variabilidad espacial y temporal y la manifestación conjunta e interrelacionada.

La variabilidad espacial explica las diferencias regionales de los climas sobre la superficie terrestre. Esta variabilidad está determinada por la influencia de los factores astronómicos, como la latitud y los geográficos. Los primeros condicionan los rasgos climáticos dominantes en grandes áreas geográficas, los segundos los modifican. Aparece así lo que algunos autores han denominado “el mosaico climático del globo” organizado en climas zonales, regionales, locales o microclimas.

La variabilidad temporal en periodos de tiempo limitados como un día, un mes o un año o en intervalos de tiempo más largos. Esta variabilidad temporal se relaciona con los factores cósmicos: movimientos de rotación y traslación de la Tierra y posición de ésta respecto al sol; balanceo estacional de los grandes sistemas de presión y flujos de aire, entre otros. A ellos se asocian los regímenes

térmicos y pluviométricos diarios, mensuales o estacionales, comunes a grandes zonas de la Tierra. Los factores locales modifican estos rasgos generales y adquieren más importancia cuanto menor es la escala de trabajo. La información acerca de estos elementos sólo es posible mediante el uso de instrumentos de medida concretos y las series han de tener una longitud relativamente alta para que podamos definir con cierta precisión lo que durante mucho tiempo se ha denominado “normales climáticas”.

Los diferentes elementos climáticos se manifiestan de forma conjunta e interrelacionada. El estudio de alguno de ellos aisladamente es suficiente para definir los rasgos generales del clima de una zona y los mecanismos que lo explican; sin embargo, en una climatología aplicada se impone el análisis conjunto de varios de ellos. Por ejemplo, las temperaturas extremas o la suma acumulada de temperaturas por encima de un determinado umbral son utilizadas como indicadores bioclimáticos. La sequía se define por la ausencia de precipitaciones o por una cantidad inferior a la normal, pero la disponibilidad de agua o la sequía fisiológica sólo pueden determinarse teniendo en cuenta la cantidad de agua evaporada y esta última depende de otras variables climáticas como la temperatura, la humedad del aire y la velocidad del viento, que actúan conjuntamente. Igual ocurre con la sensación de calor o frío, que no sólo depende de la temperatura, sino también de la humedad y la velocidad del viento.

Los elementos del clima resultantes son:

- *Radiación solar e insolación.* El sol es casi la única fuente de energía que entra al planeta. La forma de entrada de esta energía es por medio de la radiación solar en forma de rayos de diferentes longitudes de onda. Esta varía con la latitud, la época del año y la transparencia de la atmósfera. La insolación es la cantidad de calor o energía que se recibe por unidad de área y tiempo.
- *Temperatura.* Es la medida indirecta de la energía cinética de las moléculas que componen el aire y por ende las diferentes capas de la atmósfera. La temperatura desciende conforme se eleva en altitud. Las temperaturas altas se encuentran en sitios de baja altitud y latitud.
- *Presión atmosférica.* Esta es la fuerza ejercida por unidad de área, de la columna de aire que forma la atmósfera. A mayor altitud, se tiene menor presión atmosférica y viceversa. La presión atmosférica depende de la energía de las moléculas del aire, por lo que una masa de aire excitada tenderá a expandirse y ejercerá mayor presión. Esto formará al final de cuentas el movimiento del aire en sentido horizontal y vertical.

- *Viento dominante y corrientes.* Es el movimiento del aire de la alta presión a la baja, al que se le denomina advección. Si el gradiente es muy marcado, es decir, la distancia entre la alta y la baja presión es menor, entonces será mayor la velocidad del viento. El mismo principio se aplica en el sentido vertical, lo cual forma las corrientes de aire; este movimiento se le denomina convección.
- *Humedad y precipitación.* Cualquier tipo de manifestación de la presencia de agua en las masas de aire que conforman la atmósfera son necesarias de medir o estimar, ya que eso representa al final de cuentas la potencialidad de presentarse la precipitación en sus diferentes tipos: lluvia, escarcha, nieve, granizo, rocío. Las nubes son masas de aire en la que existen diminutas gotas de agua, en torno a partículas microscópicas higroscópicas. Dependiendo de las características de estas nubes, podrá o no presentarse precipitación.
- *Visibilidad dominante.* La atmósfera difiere en su transparencia de un sitio a otro. Esto depende de la composición puntual de gases y de las partículas sólidas que se encuentren suspendidas como puede ser polvo, carbono, polen, gotitas de agua. Una atmósfera limpia y no contaminada cuenta con una aceptable transparencia.
- *Nubosidad.* Las capas medias y altas de la troposfera son ocupadas por masa de aire que pueden estar saturadas de agua en forma de nubes. Estas son pequeñas gotas, en torno a núcleos sólidos que son partículas higroscópicas. La nubosidad puede filtrar los rayos solares y la radiación recibida dependerá de la nubosidad. Por lo tanto es un elemento del clima importante de considerar.

El tiempo o “estado del tiempo” se refiere a las condiciones instantáneas de la atmósfera. El estado del tiempo varía de un momento a otro. La meteorología o estudio del tiempo (*weather* en inglés), hace predicciones a partir del conocimiento del comportamiento de la atmósfera a través de los patrones de circulación de ésta en plazos muy cortos. Las predicciones del estado del tiempo se pueden llevar a cabo en un periodo de pocas semanas. A este respecto, la consideración más importante es que de año en año las condiciones atmosféricas tienden a repetirse en la misma época o estación; con esta información y con la utilización de algunos modelos matemáticos pueden predecirse condiciones que a veces inclusive resultan desfavorables para las actividades humanas, como la presencia de heladas, tempestades, huracanes, incendios forestales, etc. El estado del tiempo se estima con los mismos parámetros o elementos que el clima. Las escalas pueden ser las mismas o diferentes (García 1989, Mc Gregor y Niewolt 1998).

Es así como puede concebirse al clima como el promedio de un número infinitesimal de estados del tiempo. El estado del tiempo varía de un instante a otro, mientras que el clima varía de un espacio a otro. El tiempo y el clima se analizan con algunas variables físicas de la atmósfera que son mensurables por medio de algunos aparatos. Los estudios de climatología y meteorología se han realizado a partir del acopio de datos tomados por observadores. Hay dos tipos de sitios de observación: las estaciones meteorológicas y los observatorios. Los tipos de aparatos y las formas de lecturas están dadas de forma convencional en todo el mundo de acuerdo con la OMM.

La atmósfera de nuestro planeta la tierra, es distinta en composición de gases y su concentración, a las atmósferas de los otros planetas. La parte baja de la atmósfera terrestre o troposfera es en la que se han formado las condiciones propicias para la vida. De ahí surge el concepto de biosfera, que se entiende como la interfase entre océanos, continentes y atmósfera donde se dan los procesos biológicos. En este nivel es importante considerar las distintas escalas en la que se puede estudiar el clima.

- *Macroclima*. Este es el clima a gran nivel, es decir a escala planetaria. En este se comparan las propiedades atmosféricas de nuestro planeta respecto a otros. De esta manera se puede conocer qué tan favorables son las condiciones para el desarrollo de la vida en otros planetas.
- *Mesoclima*. Es el clima a escala de franjas latitudinales. Las variaciones climáticas a una misma latitud varían de acuerdo con la distribución de océanos y continentes, así como la orografía y en la distribución de los seres vivos corresponde a los biomas. El mesoclima se identifica en cuanto a escala a la clasificación climática de Köppen.
- *Mesomicroclima o clima regional*. Es el clima resultante de la interacción de las condiciones regionales de latitud, altitud, relieve y continentalidad. El mesoclima se corresponde con la distribución de los tipos de vegetación.
- *Clima local*. Este nivel abarca una escala de clima aún menor a la de mesomicroclima y depende de la exposición en relación con el microrrelieve. Corresponde a las asociaciones vegetales de enclaves en concreto.
- *Microclima*. Con este se abarca las condiciones resultantes de la microtopografía, iluminación (exposición), las propiedades físicas de los materiales que componen el sistema y la evapotranspiración. Corresponde a las características climáticas muy propias en gradientes de metros, centímetros y milímetros.

Estaciones meteorológicas

La única fuente de información directa con la que cuenta la climatología es la observación de los diferentes parámetros meteorológicos. La cantidad y la calidad de los datos disponibles condicionan la representatividad de los estudios climáticos. La información disponible en la actualidad procede de *observatorios* situados sobre la superficie terrestre y la obtenida por *sensores remotos* instalados sobre satélites o aviones.

Las observaciones procedentes de la red superficial se caracterizan por: 1) El carácter local, relacionado con la localización del observatorio u estación; 2) Generalmente son series temporales largas, que admiten un análisis estadístico más o menos complejo, suficiente para definir los rasgos esenciales del clima, tanto los denominados valores normales, como la variabilidad y la frecuencia de casos extremos; 3) Se utilizan instrumentos convencionales de características técnicas similares, situación parecida a fin de poder comparar las mediciones entre puntos distantes; 4) En algunas de ellas se obtienen además datos de la temperatura, humedad, viento, etc., a distintos niveles altitudinales, mediante sondeos; y 5) Recientemente se han introducido importantes modificaciones como la automatización de la red y el uso de los radares, lo que ha contribuido a mejorar sustancialmente la información.

Con la actividad de las estaciones meteorológicas se conforma una amplia red en las regiones, provincias, estados y países. A partir de los datos suministrados por estas redes se pueden definir los mecanismos que gobiernan el clima de una zona y evaluar la incidencia de los factores astronómicos y geográficos. La finalidad con la que fueron establecidas estas redes permite describir y caracterizar con bastante aproximación los climas regionales, pero presentan dificultades importantes para escalas de mayor detalle.

La información recabada es la que se utiliza para hacer predicciones y prevenir posibles desastres. Estas deben estar generalmente en sitios despejados y fuera de la influencia de árboles o edificaciones en un radio al menos de 30 m. En el centro de un círculo imaginario está instalada la estación, generalmente en un cuadro cerrado y con puerta de acceso de 4 x 4 m. Por lo general, las lecturas se realizan a las ocho de la mañana, aunque en algunas estaciones muy seleccionadas se realizan dos lecturas en el ciclo de 24 horas, por la mañana después de la salida del sol y por la tarde justo cuando se oculta.

En la actualidad existen tres tipos de estaciones y aparecen clasificadas en tres categorías de acuerdo con la información que registran, los instrumentos con los que cuentan y la formación técnica del personal encargado de los mismos.

Las estaciones de primer orden o estaciones completas, son las que efectúan observaciones de todos los elementos climáticos y están dotadas de aparatos de

precisión y registradores. Las estaciones de segundo orden o termopluiométricas, sólo tienen termómetros, higrómetros o psicrómetros y pluviómetros. Se realizan tres observaciones diarias, aunque en la mayoría son sólo dos. Las estaciones de tercer orden o pluviométricas, sólo cuentan con un pluviómetro y miden la precipitación cada 24 horas.

En la actualidad existen tres tipos de estaciones, los observatorios, las estaciones automatizadas y las estaciones meteorológicas convencionales.

Los observatorios. Son estaciones muy completas y que cuentan con sistemas de telecomunicaciones de tal forma, que en éstas se lanzan diariamente globos de radiosondeo, que se enlazan con una red mundial. En nuestro país existen 77 observatorios funcionado y supeditados al Servicio Meteorológico Nacional.

Las estaciones automatizadas. Consisten en una serie de aparatos que están controlados por una computadora y los sensores que registran los elementos climáticos ya mencionados lo hacen a través de *dataloggers*. Los datos son almacenados en la computadora y se puede acceder a éstos. Además toda la información generada es enviada por vía telefónica o por satélite al Observatorio Nacional en la Ciudad de México. Debido al alto costo de este tipo de infraestructura, lo delicado de su mantenimiento y la necesidad que haya corriente eléctrica en el sitio, en la actualidad solamente se cuenta con 60 estaciones automatizadas registradas por el Servicio Meteorológico Nacional, aunque existen muchas más de forma particular y dependientes de centros de investigación y universidades

Las estaciones meteorológicas convencionales. Forman una red de 5300 en todo el país. A partir de una depuración llevada a cabo desde 1985 se ha llegado a contar en la actualidad con aproximadamente 3500 estaciones en buen estado; la densidad en la localización de dichas estaciones depende del desarrollo económico regional.

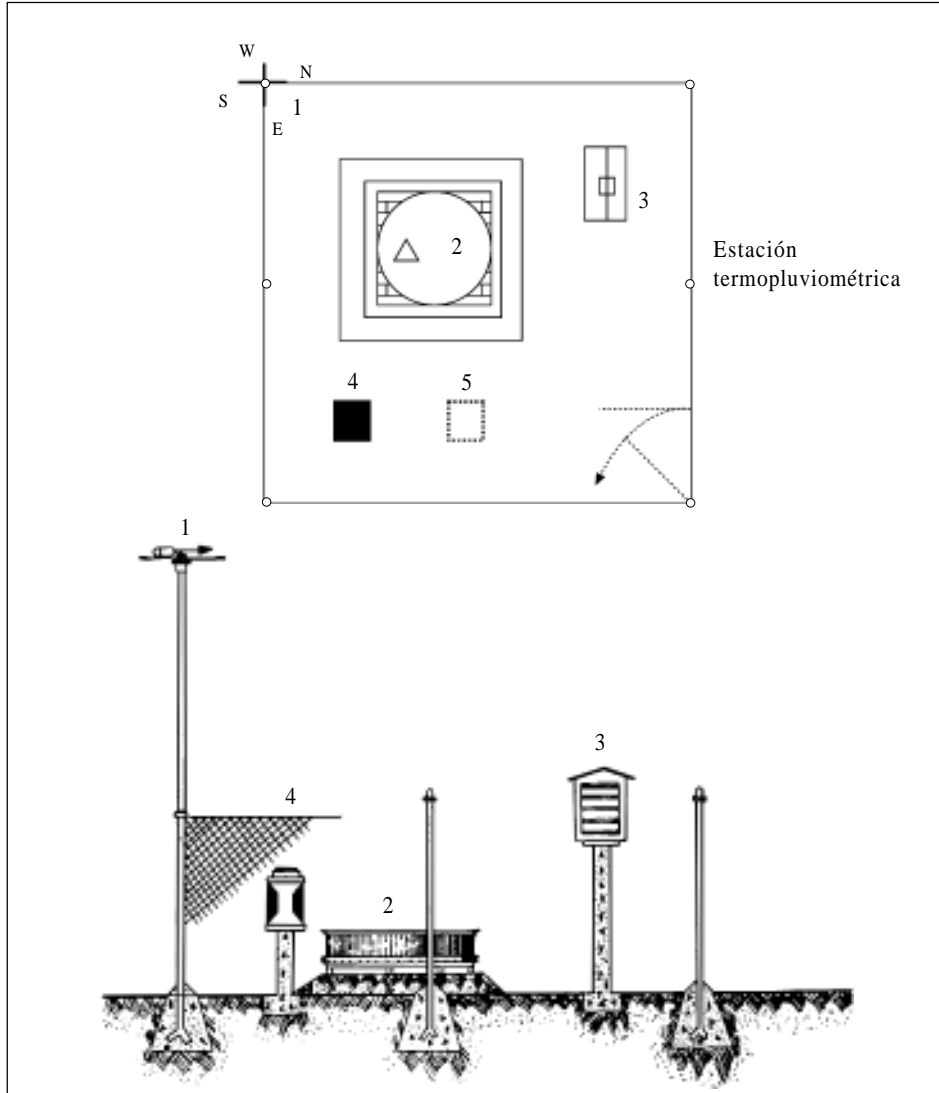
Una estación meteorológica típica consta de los siguientes aparatos (Figura 1) (Ayllón y Gutiérrez, 1983, Ayllón 1996, Torres 1995 , Torres 1997, Burroughs *et al.*, 1998):

- *Pluviómetro*. Con éste se mide la cantidad de lluvia que cae por evento o en un ciclo de 24 horas. El pluviómetro consta de una cubeta de metal (aluminio o lámina de hierro galvanizado) de 30 cm de diámetro y con una altura de 45 cm, que puede estar al ras del suelo o hasta 1 m de altura dentro de la que se encuentra centrada una probeta graduada del mismo material. El embudo también de metal consta de una tapa con una trampa que impide la entrada de basura u hojas que son arrastradas por el viento. Los eventos lluviosos durante un día pueden ser varios por lo que la cantidad suele ser acumulada. En México la lluvia se reporta en mm. Un milímetro de lluvia representa una

lámina de agua de 1 X 1m con una altura de 1 mm, lo cual equivale a un litro. En Europa la lluvia se reporta en metros, lo que equivale a los mm que nosotros entendemos. Con los datos de lluvia se puede evaluar una región por su grado de humedad o sequía: En los extremos de estas calificaciones tenemos los climas áridos *versus* los climas tórridos.

- *Pluviógrafo*. Algunas estaciones meteorológicas cuentan con este tipo de aparato. Es un registrador de lluvia por medio del movimiento de un sistema de trampas o balancines, que mueven una aguja que a su vez registra la cantidad de lluvia en un papel milimetrado hecho *ex profeso*.
- *Evaporómetro*. Este es un tanque cilíndrico con 1.22 m de diámetro y altura de 26 cm y con una cantidad conocida de agua. En la parte superficial cuenta con una llave con un tornillo micrométrico cuya punta toca la superficie del agua en el momento de su calibración; 24 horas después se mide la distancia que dista entre la punta del tornillo y el agua y esa es la cantidad perdida por evaporación. La evaporación depende de la radiación solar y de la intensidad del viento. La sencilla resta de precipitación menos evaporación, indica el balance de agua en un sitio. La evaporación se mide en México en mm de lluvia. Las lecturas se realizan cada 24 horas y los datos resultantes son las sumas acumuladas del mes.
- *Garita o Caseta*. Consiste de una caja de madera a una altura de 1.5 m con paredes con doble pared de ventilas y pintada de blanco por dentro y por fuera de aproximadamente 30 x 50 cm. En ésta se alojan los siguientes instrumentos:
- *Termómetros*. Cada estación meteorológica cuenta con un juego de termómetros para diversos fines:
- *Termómetro al ambiente*. Este contiene generalmente una columna de mercurio y mide la temperatura a la intemperie. Por lo general se encuentra colocado entre 20 y 30 cm por encima del suelo sobre un soporte u horquilla de madera, preferentemente a la sombra. La lectura del termómetro a la intemperie será la del instante de la lectura
- *Termómetro de máximas y mínimas o SIX*. Este aparato tiene forma de U con un bulbo a cada extremo. La columna, que es de mercurio o alcohol teñido de rojo, se desplazará hacia arriba en el bulbo de máximas y hacia abajo en el de mínimas, dejando la marca al quedar fijada una varilla de hierro. Cada día este termómetro deberá calibrarse al topar las varillas de hierro con la columna en ambos extremos, con la ayuda de un imán. Cada 24 horas se obtendrán las temperaturas máximas y mínimas alcanzadas.
- *Psicrómetro*. Con este aparato se mide la humedad relativa de aire en porciento. Consiste de dos termómetros juntos, uno está cubierto con una

Figura 1



Esquema de una estación meteorológica convencional (tomado de Ayllón y Gutiérrez 1983).

camisa de muselina, la cual debe humedecerse con agua destilada. Una vez mojada, se le hace pasar una corriente de aire por medio de un ventilador o bien, si es el modelo de cuerda, se gira un minuto. De esta manera ambos termómetros marcarán diferentes temperaturas, siendo más baja la del bulbo

húmedo. Existen tablas en las que se tienen conocidas las humedades relativas correspondientes a la diferencia entre bulbo seco y bulbo húmedo. En algunas estaciones se tiene el higrotermógrafo de tambor, que mide la humedad relativa y la temperatura. El inconveniente de este aparato, es que periódicamente se tiene que cambiar el papel milimétrico.

- *Barómetro de mercurio y/o barómetro aneroide (de vacío con cápsula de Vidi)*. Con ambos instrumentos se miden la presión atmosférica. Con los datos de presión se puede conocer las características del aire. Por ejemplo ante la proximidad de la lluvia se tiene presión baja. El gradiente barométrico se expresa de forma vertical y horizontal y es muy útil contar con este tipo de instrumento ya que puede ser buen auxiliar para prevenir eventos tales como ciclones o sequías intensas.
- *Veleta y Anemómetro*. Por encima de la caseta y a más de 3m de altura, fuera de la influencia de vegetación o edificios, se colocan estos instrumentos. La veleta mide la dirección del viento que puede ser los distintos componentes entre norte, sur, este y oeste, o bien calma (sin viento). El anemómetro más común de cazuelas, marca la velocidad del viento. Existe un sinnúmero de modelos de anemómetros y los más elementales que son los que están colocados en las estaciones meteorológicas convencionales solamente giran y dan idea de la velocidad del viento. Para resolver esto, se recomienda utilizar la escala de Beaufort (Cuadro 2), que aunque es subjetiva, algunos autores la han equivalido a movimientos en tierra y sobre la superficie de cuerpos de agua como lagos o el mar.

Mediciones y acopio de datos

Las lecturas de los aparatos en cada tipo de estaciones se realizan con distintas frecuencias. En términos generales, en los observatorios las lecturas se llevan a cabo cada hora. En el observatorio nacional, localizado en Tacubaya, ciudad de México, de la misma manera se reciben los datos de cada uno de los otros 76 observatorios. Cada año, se recibe en pliegos especialmente diseñados, la información meteorológica resumida de todas y cada una las estaciones del país que estén en funciones (Figura 2).

Cuadro 2

Núm. de Beaufort	Velocidad	(km/h)	Equivalencia en tierra
0	Calma	0	Humo se eleva verticalmente
1	Aire ligero	1-5	Humo a la deriva
2	Brisa ligera	6-11	Viento golpea la cara, hojas de los árboles se mueven
3	Brisa suave	12-19	Se mueven hojas y pequeñas ramas constantemente
4	Brisa moderada	20-28	Levantamiento de polvo, se mueven hojas, pequeñas ramas y ramas
5	Brisa fresca	29-38	Vibración de pequeños árboles, se arrancan algunas hojas
6	Brisa fuerte	39-49	Movimiento de ramas gruesas y pesadas, movimientos de postes
7	Viento moderado	50-61	Movimiento total de árboles, resistencia del viento a caminantes
8	Viento fresco	62-74	Se quiebran pequeñas ramas, no se puede caminar
9	Viento fuerte	75-88	Se arrancan tejados y chimeneas y ramas gruesas
10	Viento fortísimo	89-102	Se arrancan árboles completos
11	Tempestad	103-117	Daños generalizados
12	Huracán	118-133	Daños generalizados, falta de visibilidad

Escala de vientos de Beaufort.

Escala numérica utilizada en meteorología que describe la velocidad del viento, asignándole números que van del 0 (calma) al 12 (huracán). Fue ideada por el Almirante Beaufort en el siglo XIX (Tomado de Oliver 1973, Ortiz Solorio 1987 y Torres 1997).

La información se suministra en forma de fichas mensuales o diarias, según el tipo de observatorio, y recientemente en ficheros informatizados. Las estaciones completas disponen de información automatizada en archivos. La distribución espacial de las estaciones conforma una malla formada por tres redes superpuestas de amplitud variable:

Las estaciones automatizadas de igual forma pueden ser programadas a la frecuencia deseada, dependiendo de los intereses de los usuarios. De igual forma los requisitos de las estaciones de este tipo oficiales realizan lecturas cada hora y envían la señal al observatorio nacional de inmediato.

En las estaciones convencionales se mide la cantidad de agua recibida en el pluviómetro y la pérdida de agua en el evaporómetro, se registra el dato de ese instante del termómetro al ambiente, las temperaturas máximas y mínimas de las últimas 24 horas, se activa el psicrómetro. Se llevan a cabo las observaciones de los que se llaman fenómenos varios en las últimas 24 horas: cobertura nubosa en

el firmamento (nublado, medio nublado, despejado), presencia de granizo, neblina, rocío, helada, escarcha, nieve, tormentas eléctricas, visibilidad dominante (teniendo como referencia un punto en el horizonte a 10 km de distancia). Asimismo se toma la dirección del viento y su velocidad (al menos en la escala de Beaufort). Todos estos datos son apuntados por el observador en una libreta de bolsillo diseñada especialmente.

Posteriormente esta información es transcrita a los pliegos especiales en el renglón correspondiente a la fecha. Al final del mes el observador hará el resumen o en su caso el promedio (por ejemplo de la temperatura media), los datos extremos: temperatura máxima, temperatura mínima, lluvia máxima en 24 horas las sumas de precipitación pluvial y de evaporación correspondientes al mes los 30 días.

En cuanto a los fenómenos, hará la suma del número de días: con lluvia apreciable (de 0.1mm en adelante, con lluvia inapreciable, con tempestad eléctrica, niebla, heladas, rocío, nevada, granizo, cielo despejado, medio nublado, nublado. Además se sacará el resumen del viento dominante del mes y de la visibilidad dominante. Sin embargo no todas las estaciones convencionales en la actualidad toman nota de los fenómenos, por lo que ya no se pueden emprender trabajos de análisis con esta información más que los históricos.

Previsión del tiempo y reportes diarios

Este tipo de información solamente se puede solicitar en los observatorios. Debido a la infraestructura en instrumentación con que cuentan y a que están enlazados en tiempo real se puede consultar la trayectoria de algún tipo de fenómeno que esté afectando o pueda afectar la zona de interés. Tal sucede con las perturbaciones tropicales (huracanes), los frentes fríos o “nortes”, o bien si se está en la costa, las marejadas. La información se puede solicitar por vía telefónica, por FAX, correo electrónico, o bien consultando las siguientes páginas WEB de la Comisión Nacional del Agua- Servicio Meteorológico Nacional, de la Comisión Federal de Electricidad y del Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática: www.smn.cna.gob.mx; www.cfe.gob.mx; www.inegi.gob.mx; Algunas direcciones internacionales que proporcionan información sobre pronóstico de tiempo, como frentes, huracanes e información de otros países:; www.weather.com; www.nhc.noaa.gov; www.ssd.noaa.gov; www.hpmoc.navy.mil; Sobre cambio climático y fenómenos como El Niño www.cdc.noaa.gov; www.igbp.kva.se

Figura 2

SECRETARÍA DE RECURSOS HIDRÁULICOS														
DIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - OFICINA DE CÁLCULO CLIMATOLÓGICO														
OBSERVACIONES CLIMATOLÓGICAS HECHAS A LAS 8 HORAS														
LATITUD 19° 16' 16"			LONGITUD 98° 14' 17"			ALTITUD 2240 M.S.N.M.			MES MAYO			AÑO 1973		
DIVISIÓN TLANCASCANTO			MUNICIPIO TLAXCALA			ESTACIÓN TLAXCALA			ESTACIÓN TLAXCALA			RESUMEN MENSUAL		
Días	TEMPERATURAS AL AMANECER			MUCHOS NEVOS	NEVOS EN LA MAÑANA	NEVOS EN LA TARDE	NEVOS EN LA NOCHE	ESTADO DEL TIEMPO			RESUMEN MENSUAL			
	Temperatura	Humedad	Velocidad					Observación	Temperatura	Humedad	Velocidad	Temperatura	Humedad	Velocidad
1	14.0	29.5	11.5	0.0	44.45	7.80	NO	NW	T-8					
2	14.5	29.5	10.0	0.0	36.65	6.34	NO	NW	T-8					
3	14.5	30.0	10.5	5.0	35.31	8.34	NO	N	T-8					
4	14.0	23.5	11.5	0.0	26.97	9.05	NO	N	T-8					
5	14.0	27.0	9.0	0.0	18.98	6.36	NO	SW	T-8					
6	13.5	27.0	10.5	0.0	12.56	1.31	NO	N	T-8					
7	13.5	28.0	10.5	8.5	45.15	6.35	NO	N	T-8					
8	14.5	29.0	9.5	0.0	38.30	6.95	NO	Calma	T-8					
9	16.0	28.0	11.0	1.5	52.95	6.46	NO	Calma	T-8					
10	16.0	28.0	12.0	0.0	46.51	7.09	NO	Calma	T-8					
11	14.5	29.0	10.0	15.5	56.92	6.74	NO	Calma	T-8					
12	14.0	29.0	10.5	0.0	48.38	7.49	NO	N	T-8					
13	15.0	28.5	11.0	0.0	41.03	7.80	NO	N	T-8					
14	13.5	24.5	11.5	0.0	38.39	4.75	NE	N	T-8					
15	17.0	24.5	11.5	0.0	28.50	4.10	NE	N	T-8					
16	14.5	24.5	10.5	1.5	25.90	4.82	NE	NE	T-8					
17	14.0	26.5	10.0	5.0	23.60	4.40	NE	NE	T-8					
18	13.0	23.5	11.0	11.5	33.48	3.41	NO	NW	T-8					
19	13.0	25.0	11.0	10.5	40.13	5.20	NE	N	T-8					
20	12.0	23.0	9.0	17.5	52.87	3.65	NA	NW	T-8					
21	11.5	26.5	7.0	3.0	50.42	9.07	NA	Calma	T-8					
22	13.0	26.5	7.0	0.0	43.35	6.88	NA	N	T-8					
23	11.0	30.0	7.0	0.0	34.50	8.40	NO	SE	T-8					
24	11.5	30.5	7.5	0.0	29.35	7.42	NO	Calma	T-8					
25	12.5	32.0	8.0	0.0	35.00	6.88	NO	Calma	T-8					
26	14.0	31.0	9.0	0.0		7.57	NO	N	T-8					
27	13.0	32.0	9.0	0.0		6.73	NO	Calma	T-8					
28	13.0	31.0	9.0	0.0		6.61	NO	NW	T-8					
29	14.0	31.0	9.0	0.0		6.88	NO	N	T-8					
30	14.0	31.0	9.0	0.0		5.93	NO	NS	T-8					
31	13.0	27.0	9.0	22.5	26.62	5.07	NO	NW	T-8					
Media	13.5	27.4	9.0	3.4		6.26								

Pliego de observaciones realizadas a las 8 horas en cualquier estación meteorológica. Éste se incorpora a un expediente propio de cada estación

Acopio de datos

Los pliegos descritos anteriormente (observaciones climatológicas a las 8 horas) son enviados a las oficinas estatales y regionales de la red, en el caso de México, actualmente de la Comisión Nacional del Agua (CNA). En tiempos pasados las estaciones meteorológicas o climatológicas eran coordinadas de forma separada por la Secretaría de Recursos Hidráulicos, por el Servicio Meteorológico Nacional, la Comisión Federal de Electricidad (para las estaciones hidrométricas) y alguna otra dependencia gubernamental. Finalmente una copia de esta información se envía al Servicio Meteorológico Nacional, con sede en el Observatorio Nacional de Tacubaya en la ciudad de México, donde se puede tener acceso a la información de cualquiera de las estaciones del país en funciones o suspendidas.

Debido a que en los observatorios se hacen reportes por hora, también se cuenta con los resúmenes de éstos, que son pliegos de mayor tamaño (Pliegos de observatorios). Estos datos son de gran interés ya que se pueden comparar las variables de diferentes días a la misma hora, etc.

Las tarjetas de “parámetros climatológicos” se conforman en juegos de todas las variables o parámetros climatológicos y están almacenadas por estación. Los parámetros que se pueden solicitar son los siguientes: Temperatura media; temperatura máxima extrema; temperatura mínima extrema; promedio de temperaturas máximas diarias; promedio de temperaturas mínimas diarias; oscilación de la temperatura; precipitación total en mm; lluvia máxima en 24 horas; evaporación total en mm; días con lluvia apreciable (de 0.1 mm en adelante); días con lluvia inapreciable; días con tempestad eléctrica; número de días de rocío; días con granizo; días con heladas; días con nevadas; días con niebla o neblina; días despejados; días seminublados; días nublados; vientos dominantes (dirección y velocidad); y visibilidad dominante. Adicionalmente a esta información en los observatorios se puede solicitar la información de radiación solar, insolación, presión atmosférica, velocidad del viento en m/seg, humedad relativa, temperatura superficial (al ambiente), frecuencia de rayos.

En las tarjetas están contenidos los promedios o sumas mensuales de enero a diciembre de cada año de cada variable. Cada lado de la tarjeta contiene una década, comenzando por el año 1 al 10. Por ejemplo si una estación cuenta con registros del dato que nos interese (como temperatura media) desde 1921, contaremos con una tarjeta que tenga información de enero a diciembre y la anual de 1921 a 1930; en la parte trasera datos de 1931 a 1940; la siguiente tarjeta de 1941 a 1950 y al reverso de 1951 a 1960 y así sucesivamente hasta terminar con el año 2000. En la actualidad se estaría llenando una tarjeta que contendría la información de 2001 a 2010. La ventaja de contar con este tipo de tarjetas para ser consultadas es que regularmente los estudios climatológicos se realizan contando con los datos mensuales. Solamente para estudios muy detalladas se debe recurrir a los datos diarios de los expedientes. Por lo general en las oficinas del Servicio Meteorológico, se puede solicitar el fotocopiado de estas tarjetas y posteriormente poder así capturarlas en computadoras en las oficinas o laboratorios, para los fines que se requieran de investigación.

El Servicio Meteorológico Nacional ha publicado de forma eventual los resúmenes y promedios de acuerdo con los lineamientos de la OMM. Si se desea contar con esta información se puede recurrir a las bibliotecas especializadas, donde se encuentran depositados estos libros. Por lo general las normales que pueden ser de 1940 a 1980 se utilizan como punto de referencia para comparaciones con décadas o valores de algún año en particular. Las anomalías son los valores por encima o por debajo de las normales y sirven para determinar si un año es seco o húmedo y si es caliente o es frío de forma comparativa.

La Comisión Nacional del Agua elaboró una base de datos con los resúmenes mensuales de todas las estaciones climatológicas del país en funciones (*CLICOM*).

Figura 3

SERVICIO METEOROLÓGICO MEXICANO													
CHENALHO, CHIS. OSCILACION DE TEMPERATURAS Forma T-9.													
AÑOS	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	ANUAL
1951	13.5	13.1	12.8	12.4	12.1	11.2	10.9	11.3	10.4	10.4	11.2	10.7	11.0
52	13.6	13.9	14.3	12.6	11.3	10.5	10.5	11.6	10.5	9.6	11.5	12.4	10.7
53	13.6	13.1	13.6	13.7	12.0	10.5	10.4	11.1	9.9	10.3	10.6	12.1	11.7
54	10.2	9.4	10.5	9.6	8.5	8.0	9.1	9.3	8.6	8.3	9.6	7.5	9.3
55	10.4	9.4	10.4	10.1	9.7	9.8	9.7	10.1	9.3	10.6	10.9	10.4	
56	10.4	10.8	10.7	12.3	10.0	9.7	10.3	10.5	9.0	9.7			
57	10.3	10.7	11.0	10.9	11.2	10.0	8.9	8.9	9.2	9.6	10.2	10.5	
58	10.9	10.8	11.4	11.3	10.9	9.5	10.0	10.2	9.8	9.9	9.7	9.1	
59	9.5	10.0	10.4	13.2	12.7	11.6	12.3	11.7	11.1	10.3	11.1	12.6	
60	11.4	12.3	13.6	13.6	13.6	11.1	11.3	11.1	9.9	10.6	11.5	11.2	

Tarjeta de información resumida o promediada mensual típica de alguna estación climatológica

Esta base de datos es una modificación de la hoja de cálculo Excell y proporciona los promedios. Esta base de datos incluye el periodo 1961- a la fecha de las variables temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura media, precipitación pluvial, evaporación y días con precipitación apreciable. Generalmente se puede solicitar en las oficinas de las gerencias estatales o regionales de la CNA, mediante un oficio y por intercambio de diskette. El hecho que la información esté en una base de datos, tiene como ventajas que se puede representar gráficamente con facilidad y se procesa en muy poco tiempo.

Hace poco tiempo el Servicio Meteorológico Nacional y la Comisión Nacional del Agua (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua) publicaron una base de información conteniendo los datos diarios de la mayor parte de las estaciones climatológicas de todo el país (ERIC I y ERIC II). Los parámetros que se reportan son temperatura al ambiente, temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación, evaporación, cobertura del cielo (nublado, despejado, seminublado), niebla, granizo y tormentas eléctricas. Esta base de datos contiene la información depurada en parte de las estaciones antiguas, de tal manera que se incluye información desde 1948 hasta 1998 para las estaciones históricas. Para las estaciones con menos años tiene la información diaria desde su inicio y hasta 1998 o hasta que haya sido suspendida. Contiene, adicionalmente las coordenadas geográficas y altitud de la estación municipio al que pertenece y la clave numérica asignada

por el Sistema Meteorológico Nacional (SMN). Esta base de datos se vende en formato de disco compacto y se puede abrir en el programa *Excell*, con lo que fácilmente se pueden elaborar los promedios mensuales, información ya susceptible para trabajarse de forma convencional.

La base de datos Sistema de Consulta DAT322 parecida a ERIC, en la que se han seleccionado algunas estaciones de cada estado del país, con una gran cantidad de datos. Contiene la información diaria de la temperatura ambiente, temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación, evaporación, condición de cielo (nublado, despejado, seminublado), niebla, granizo y tormentas. Dentro del mismo programa y base de datos se pueden calcular los promedios y sumas mensuales y se puede exportar la información a *Lotus* o *Excell*. Contiene además un mapa de distribución de las estaciones que se reportan en la República Mexicana.

La información se solicita de manera oficial. Si el solicitante es un estudiante, por lo general solamente se requiere que muestre su credencial. En ocasiones el usuario no cuenta con recursos económicos para el pago de fotocopias de la información o carece de diskette. En ese caso, tendrá que transcribir la información a mano. Para esto se recomienda recurrir con papel con rayas verticales y horizontales en el que exista en espacio probable, suficiente para poder transcribir con claridad.

En el caso que la información sea proporcionada en forma electrónica (Diskette o CD), se recomienda que los programas que se utilicen posteriormente para realizar los cálculos sean compatibles con la versión de la base de procedencia. Es importante destacar que la información meteorológica y climatológica no solamente se puede obtener en la CNA y el SMN, sino en otras dependencias gubernamentales o bien directamente con los observadores (las personas que toman los datos diariamente) si eso pudiera ser posible.

Análisis de la información e interpretación

La información obtenida, en primera instancia debe ser procesada para poder ser utilizada o comparada. A continuación se describen los pasos recomendados para trabajar con dichos datos.

Se recomienda recopilar la mayor cantidad de años posibles de lecturas que tenga(n) la(s) estación(es) que se trabajen y que sean las más cercanas al sitio de estudio. Es importante señalar de todos los datos climáticos a los que se puede tener acceso, la temperatura media y la precipitación pluvial son los que dan la mejor idea de la descripción climática de un lugar.

El primer tratamiento a los datos, es que una vez que se tenga toda la información por variable reunida, se observe si existen o no espacios vacíos, es decir

carentes de información. Si en un año existen más de seis meses faltantes de información, se sugiere no considerar ese año. Es necesario llenar los espacios con la finalidad de uniformar la información. Comúnmente los espacios vacíos se rellenan con el promedio de 10 años del mismo mes, considerando en lo posible que sean de 5 años antes y cinco años después del faltante. Una vez depurados los años y completada la información, se procede a calcular las medias aritméticas, ya que la climatología convencional está basada en los promedios de muchos años. Hace algunos años surgió una corriente dentro de la climatología en la que se comenzó a utilizar la moda o el valor más frecuente. Sin embargo se vio que para poder emprender una climatología basada en la moda estadística, sería necesario el contar con información climatológica de muchos años, muy completa y de excelente calidad. Como esta es una meta muy difícil de alcanzar se ha optado por continuar utilizando los promedios como puntos de descripción. El Cuadro 3 ejemplifica el cálculo de promedios de temperaturas medias en un periodo de 10 años. Puede observarse que el promedio anual es el promedio de promedios de todos los meses de todos los años de lecturas.

Cuadro 3

Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
1991	25.0	24.2	27.6	30.5	30.4	29.8	29.3	29.0	28.3	26.7	24.0	24.2	27.4
1992	23.5	23.8	27.2	27.8	27.3	30.8	28.8	28.9	28.6	27.0	25.8	23.9	27.0
1993	24.4	24.0	24.8	27.8	29.2	28.7	29.1	29.2	28.9	28.0	25.8	23.5	27.0
1994	23.9	25.8	25.9	29.2	29.8	29.1	29.7	29.6	28.9	28.4	25.3	24.3	27.5
1995	24.3	25.0	26.6	29.6	32.5	30.6	29.5	29.6	29.7	27.0	25.5	24.1	27.8
1996	22.3	24.1	24.6	28.4	29.9	29.2	29.6	28.0	30.1	27.4	25.1	23.7	26.9
1997	23.5	25.8	28.0	29.4	29.3	29.4	29.0	29.3	28.6	26.8	25.6	23.0	27.3
1998	23.7	25.2	25.6	29.0	30.8	31.2	29.5	29.9	30.0	28.0	25.4	23.6	27.7
1999	23.3	25.2	27.0	29.7	31.0	28.8	28.0	29.1	29.0	26.2	23.1	22.5	26.9
2000	22.5	23.5	27.0	27.9	29.4	27.3	29.0	27.9	28.3	25.5	25.1	23.6	26.4
Promedio	23.6	24.7	26.4	28.9	30.0	29.5	29.2	29.1	29.0	27.1	25.1	23.6	27.2

Promedios de temperaturas de una estación climatológica

El Cuadro 4 ejemplifica los cálculos que se realizan con la precipitación total. Se aprecia que con ésta se suman las cantidades recibidas diario y en el mes se da el total. En el total del periodo de lecturas se realiza el promedio por mes; sin embargo, la anual es la suma de los promedios de todos los meses.

Los datos y los promedios presentados en los Cuadros 3 y 4 son reales, corresponden a una estación climatológica del estado de Yucatán. Se puede apreciar que la temperatura media no varía tanto en el mismo mes de distintos años, como

sí sucede con la precipitación. Es precisamente la alta variabilidad de la lluvia lo que ha conducido a los climatólogos que, para caracterizar el clima de un sitio, es necesario contar con un número considerable de años de lecturas, mayor de 20.

Cuadro 4

Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
1991	71.3	47.2	2.2	0.0	43.5	115.0	118.4	227.0	188.3	89.7	22.4	165.6	1090.6
1992	22.6	23.2	37.5	115.2	14.0	118.8	158.2	175.3	210.2	47.7	238.4	22.3	1183.4
1993	198.3	2.2	11.3	21.8	114.1	230.1	184.9	73.0	291.6	112.0	26.3	15.8	1281.4
1994	85.4	31.7	8.4	143.4	33.8	318.4	67.8	203.0	159.0	129.9	33.6	33.4	1247.8
1995	35.7	0.0	22.1	14.0	21.8	139.1	180.9	270.2	209.9	359.8	19.8	105.5	1378.8
1996	17.8	5.2	37.5	28.6	37.8	121.3	195.1	146.0	68.0	131.8	3.1	62.3	854.5
1997	0.0	54.8	2.7	59.7	271.1	157.3	194.6	163.0	107.5	169.7	33.4	25.9	1239.7
1998	81.7	3.8	10.1	29.4	39.8	124.2	174.8	174.2	208.6	176.7	83.1	26.6	1133.0
1999	8.5	5.4	53.8	4.2	166.4	222.8	131.3	227.2	71.1	222.6	29.7	45.9	1188.9
2000	0.8	2.7	12.6	1.2	81.1	279.5	77.0	179.3	81.8	99.5	54.4	55.9	925.8
Promedio	52.2	17.6	19.8	41.8	82.3	182.7	148.3	183.8	159.6	153.9	54.4	55.9	1152.4

Promedios y suma total de promedios de precipitación pluvial

Los datos tales como “número de días”.... se procesarán de forma similar a la precipitación. En la casilla de cada mes aparecerá el total correspondiente, la anual será la suma de los totales de todos los meses. El promedio de un periodo se hará promediando las casillas de cada mes y la suma de los promedios será la anual.

La temperatura del aire es, con la humedad, el carácter climatológico más importante. Por su influencia en todas las actividades del hombre, en la vegetación, fauna, etc., entra a formar parte de las clasificaciones climáticas, desde el macroclima hasta el microclima. Los parámetros de la temperatura más comúnmente utilizados en las clasificaciones climáticas y en los estudios del régimen térmico de una localidad son las siguientes:

Los valores absolutos son: temperatura máxima diaria; temperatura mínima diaria; las temperaturas máxima y mínima anuales; y temperaturas máxima y mínima mensuales.

Los valores medios son: a) Temperatura media diaria, que puede tomarse como el promedio de observaciones realizadas cada hora, como el promedio de lecturas realizadas a las 7.00, 14.00 y 21.00 horas (esta última contada dos veces), o simplemente como media aritmética de la máxima y mínima diarias, b) Temperatura media mensual, media aritmética de las medias diarias del mes correspondiente; c) Temperatura media mensual de las máximas; d) Temperatura media mensual de las mínimas; e) Intervalo diario de temperatura o diferencia en

grados centígrados entre la máxima y la mínima diaria; y f) Intervalo anual de temperatura, diferencia entre la media del mes más cálido y del mes más frío.

Otros parámetros son: a) Período libre de heladas: número de días en que la temperatura es continuamente superior a cero grados centígrados; b) Estación media libre de heladas: número de días desde la fecha media de la última helada de primavera hasta la fecha media de la primera helada de otoño; c) Temperatura nocturna efectiva: media mensual de las mínimas, más un cuarto (intervalo medio mensual); y d) Temperatura diurna efectiva: media mensual de las máximas, menos un cuarto (intervalo medio mensual).

La temperatura experimenta variaciones que es conveniente conocer cuando se trata de realizar un análisis climático completo. En un mismo lugar la temperatura presenta variaciones diarias y estacionales; dentro de una zona de alguna extensión pueden darse variaciones con la altitud (verticales), con la latitud (horizontales) o debidas a otros factores (relieve, masas de aguas próximas). En los estudios del medio físico son las variaciones de un lugar a otro las que interesan más, en cuanto pueden definir meso o microclimas; el conocimiento de modo de variación es particularmente importante, ya que permite deducir valores de la temperatura, para un lugar donde no se recogen directamente, a partir de datos conocidos de otro lugar. El caso más frecuente es el de las variaciones altitudinales: se admite que el gradiente vertical de temperatura se sitúa entre 10.8 y 0.8° C y que su valor medio es de 0.55° C .

La precipitación se define como el agua que cae sobre la superficie de la tierra tanto en forma líquida como sólida. La precipitación viene siempre precedida por los fenómenos de condensación y sublimación o por una combinación de los dos. La precipitación es uno de los caracteres del clima más definitorios. Es también factor controlador principal del ciclo hidrológico en una región, así como de la ecología, del paisaje y de los usos del suelo (García, 1989; Henderson-Sellers y Robinson 1996; Mc Gregor y Niewolt 1998).

Según su origen, pueden distinguirse en: a) Precipitaciones *ciclónicas* o de *frentes*; b) Precipitaciones *convectivas*; y c) Precipitaciones *orográficas*.

Según la forma en que se presenta, la precipitación recibe los nombres de: a) Lluvia. Gotas líquidas de diámetro comprendido entre 0.05 mm y 3 mm, que llegan al suelo con velocidad mayor a 3 m/seg y menor a 7 m/seg; b) Llovizna, gotas líquidas de diámetro inferior a 0.5 mm, muy numerosas, que caen con velocidad inferior a 3 m/seg y casi siempre superior a 1 m/seg; c) Chubasco, gotas grandes más o menos dispersas, de diámetro superior a 3 mm que caen con velocidad superior a 7 m/seg; d) Nevada, copos constituidos por cristales hexagonales de hielo, microscópicos, que caen con poca velocidad y forman en el suelo capas de estructura esponjosa; e) Nieve granulada, granos esféricos de nieve cristalina,

de 3 a 5 mm, de diámetro, frágiles, que rebotan al tocar el suelo; y f) Granizo, granos de hielo redondeados, de estructura concrecionada, en los que alternan ordinariamente capas amorfas y capas cristalinas, de tamaño variable desde 1 mm en adelante.

En los registros climatológicos no se consideran por separado las distintas formas y orígenes, excepto la nieve y el granizo, ya que los efectos de estos últimos presentan una significación especial. En concreto, es interesante conocer la frecuencia de granizo en una determinada localidad para el desarrollo de actividades agrícolas, o la acumulación de nieve para el abastecimiento de agua.

Hay una serie de datos de precipitación que se observan y registran en las estaciones climatológicas, y otros que se pueden deducir como variables a partir de los primeros. En los registros climatológicos suelen anotarse los siguientes datos: Número de días y cantidad de lluvia, nieve y granizo, por separado; Número de días de precipitación; Datos de duración y forma de la precipitación; Valores extremos (máximos o Mínimos) de precipitación (mensuales o anuales); Precipitación máxima registrada en veinticuatro horas; y Totales anuales, mensuales y diarios.

A partir de los datos observados y registrados se obtienen otros parámetros que se utilizan para caracterizar el régimen de precipitaciones de un determinado lugar o para aspectos concretos en relación con el medio físico. Por ejemplo, los promedios definidos por la media aritmética de los valores de precipitación anuales de una serie de años, que la OMM ha fijado en treinta años, como por ejemplo: (media mensual, media anual, media de las máximas y mínimas, número medio mensual de días de lluvia, número medio anual de días de lluvia y precipitación anual o media.

Cuando la distribución de las estaciones no es uniforme y la variación entre estaciones es relativamente grande se utiliza el método de Thiessen (Oliver 1973; Griffiths 1976). Se basa en el criterio de la asignación a cada punto de la cuenca de la precipitación registrada en el pluviómetro más cercano. Para su aplicación se unen mediante líneas de trazo discontinuo las estaciones adyacentes, resultando una serie de triángulos. Luego se dibujan, con líneas de trazo continuo, las mediatrices de cada lado de los triángulos. Las intersecciones de estas mediatrices definen un conjunto de polígonos. A cada polígono se le asigna la precipitación correspondiente a la estación que está en su interior. Se mide el área de cada polígono y se expresa como una fracción decimal del área total de la cuenca. Es decir, que si las áreas de los polígonos son $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$, y las precipitaciones respectivas son $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$; la "precipitación media" P sobre la superficie total considerada S se calcula así (Ortiz-Solorio 1987):

$$P = \frac{S_1}{S} P_1 + \frac{S_2}{S} P_2 + \dots + \frac{S_n}{S} P_n$$

Es necesario considerar que los avances de la climatología se han dado en dos vertientes: En el conocimiento de la física de la atmósfera y en las aplicaciones de la estadística simple y compleja. Para los fines de este escrito solamente se dedicará espacio a la mención de algunos métodos estadísticos que se aplican en climatología. Como se ha visto en párrafos anteriores, lo más común en climatología es la utilización de las medias aritméticas de los datos obtenidos a partir de observaciones. En estadística aplicada a la climatología, existen tres tipos de datos: los de caracteres primitivos, los de caracteres elementales y los de caracteres superiores (García, 1978).

Los caracteres primitivos son aquellos que se pueden interpretar sin necesidad de realizar cálculos, si acaso agrupaciones como los valores extremos, agrupaciones por rangos y distribuciones de frecuencias.

Los caracteres elementales son los que se realizan con cálculos sencillos como los de la estadística descriptiva: media, mediana, moda, desviación estándar, cuartiles, deciles, percentiles.

Los caracteres superiores son aquellos que requieren estadística más compleja y son: varianza, coeficiente de variación, error estándar, distribución de poisson, distribución de X^2 , distribución gamma, series de fourier, etc.

Para conocer la variabilidad de los datos, es necesario utilizar la estadística descriptiva a través de las medidas de dispersión y medidas de tendencia central.

Las medidas de dispersión son aquellas que conducen a saber qué tan variables son nuestros datos. De ellas es necesario conocer el rango de variación o límites entre los que caen nuestros datos. También es necesario saber el tipo de distribución de los datos; si tienen distribución normal, de poisson o de algún otro tipo.

Otras medidas de dispersión son la ordenación por cuartiles, deciles o percentiles, la varianza, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación.

Las medidas de tendencia central son aquellas que buscan encontrar el dato alrededor del que tienden a agruparse los demás datos. Las medidas de tendencia central principales son el promedio o media aritmética, la moda o sea el valor más frecuente, la mediana o el valor que cae exactamente a la mitad de los datos. Es importante señalar que cuando los datos obtenidos tienen una distribución normal, la media, moda y mediana son iguales. Una forma de estimar la distribución de un conjunto de valores, es ver qué tan separadas están la media de la moda y la mediana respectivamente.

La forma en que se puede representar la distribución de frecuencias, es por medio de histogramas, en los que previamente se han definido los intervalos de clase, o bien por medio de una curva, denominada polígono de frecuencias. Otra forma de representar los datos es por medio de la curva de frecuencias acumuladas u ojiva. Si los datos tienen la tendencia a dos valores más frecuentes entonces

la curva es bimodal y también puede ser multimodal si tienen más de dos valores más frecuentes.

Hay una gran cantidad de métodos aplicables a la estadística como es el cálculo de probabilidades de algún evento, y dependiendo del tipo de distribución de los datos de base, se pueden utilizar diversos tratamientos.

Otro tipo de cálculo que se puede realizar, es el de ANOVA o análisis de varianza, siempre y cuando se tengan claramente establecidas las hipótesis de trabajo, es decir, se sepa exactamente qué se está buscando. Es muy común que los promedios convencionales de los datos de las estaciones utilizadas en las investigaciones, se relacionen entre sí con el objeto de obtener índices.

El índice más sencillo y comúnmente utilizado es el de Lang; con éste, conociendo valores límites se puede estimar el grado de humedad o de sequía de un sitio. Así como ese índice, se han introducido índices, como los que se incluyen en el Cuadro 5. Una de las estrategias para utilizar los datos climatológicos de las estaciones ha sido la aplicación, inclusive combinada de los índices de aridez. Cada índice cuenta con límites entre diferentes grados de humedad o aridez, que han sido extraídos de forma empírica. En México con el índice de Lang, por ejemplo el valor limítrofe entre los climas semiáridos y áridos es de 22.9. Por lo anteriormente mencionado, es recomendable utilizar dicho índice.

Por otro lado, una de las maneras más sencillas de mostrar las características climáticas (reparto de la lluvia y la temperatura) de un sitio a lo largo del año, es a través de la representación gráfica. Existen varios tipos de gráficas para representar al clima, las que genéricamente se denominan climogramas. Los climogramas en casi todos los casos representan la distribución de la temperatura y de la lluvia a lo largo del año, aunque a veces se incluyen otros datos como temperaturas máximas y mínimas, evaporación, días con lluvia apreciable, lluvia máxima en 24 horas, etc.

Climograma

El climograma más elemental se construye de la siguiente forma: en el eje de las x , se escribe la serie de los 12 meses del año en espacios equidistantes y se tienen dos ordenadas y_1 y y_2 . En y_1 , que es de la izquierda, por lo general se escribe la escala de la temperatura (en grados centígrados). En y_2 se escribe la escala de la precipitación pluvial o lluvia. La temperatura del mes se representa por un punto; todos los puntos están unidos por una línea continua. La precipitación, como es cantidad, se representa por una barra. La figura 4 presenta un ejemplo de climograma. Si se desea, se puede diseñar un climograma en el que aparezcan series de meses de varios años, a condición que estén ordenados cronológicamente. También puede representarse la

Cuadro 5

Autor	Fórmula	Aplicaciones y datos
Dokuchaiev	P/E_0	(P precipitación y E evaporación. Se compara la cantidad de lluvia respecto a la evaporación)
Oldekop	P/E_0	E_0 evapotranspiración potencial $E_0 = d$, siendo d déficit de saturación y coeficiente de proporcionalidad
Lang	P/t	Índice de humedad, se usan las anuales
Koeppe	$2(t+7)$	Índice para separar los climas secos de los húmedos
De Martonne	$P/t+10$	Índice para separar climas secos de húmedos
Meyer	P/d	En el que se introduce el déficit de saturación(d)
Reichel	$NP/t+10$	Es una modificación al de Martonne, solamente que N es el número de días con lluvia apreciable
Emberger	$100P/(M+m) (M-m)$	Se utilizan las temperaturas máximas (M) y mínimas (m)
Ivanova	P/E_0	E_0 se calcula por $0.0018 (25+t)^2 (100-a)$, siendo t la temperatura media mensual y a la humedad relativa mensual
Thornthwaite	$100 s - 60d /n$	s = superávit de humedad en la época lluviosa y d = déficit de humedad en la época seca, n es evapotranspiración potencial
Prescott	$P/S_d 0.7$	S_d es el déficit de saturación y P la precipitación en pulgadas
Budyko	R_0 /LP	R es balance de radiación, y L calor latente de saturación
Kostin	P/E_0	$E_0 = dn/4 (1+ 0.004t)^2$

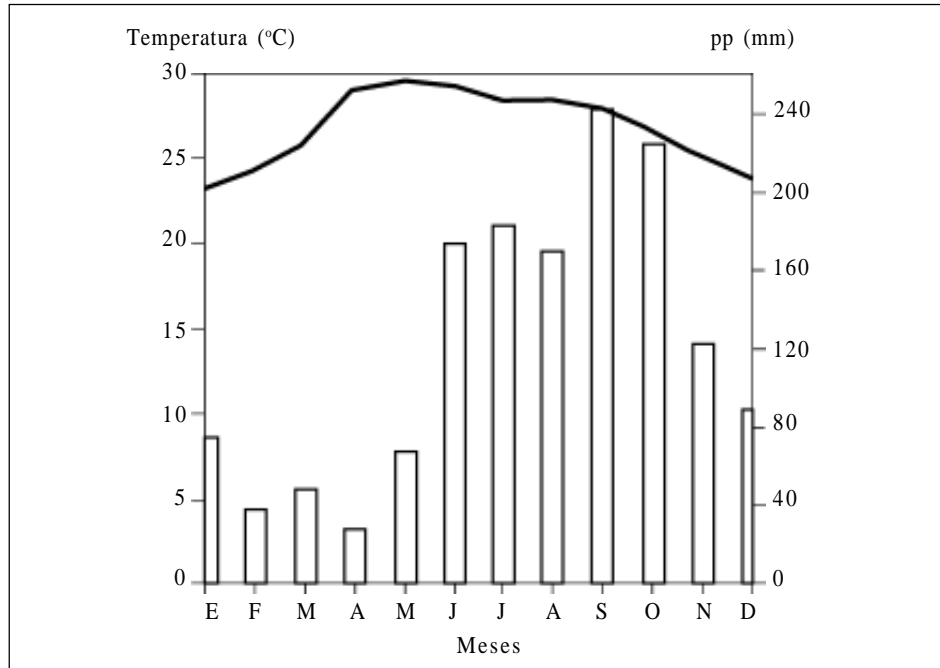
Índices de humedad o sequía (Oliver, 1973)

temperatura media anual y la precipitación total anual de año con año, con lo que se dará idea de la variación interanual.

Climograma de Péguy

Este tipo de gráfica tiene los mismos ejes que la anterior y ha servido de base para la clasificación climática del mismo autor. Sin embargo, en este caso tanto temperatura como precipitación se representan por puntos unidos con líneas continuas. En la versión original de Péguy, el eje que representa las temperaturas está a mano derecha aunque hemos preferido no representarlo de esa forma. Adicionalmente, la gráfica está dividida en las siguientes subáreas que representan los periodos del año: G meses fríos, F meses fríos y húmedos, O meses templados óptimos, A meses áridos, T meses tropicales. La figura 5 muestra este tipo de gráfica.

Figura 4

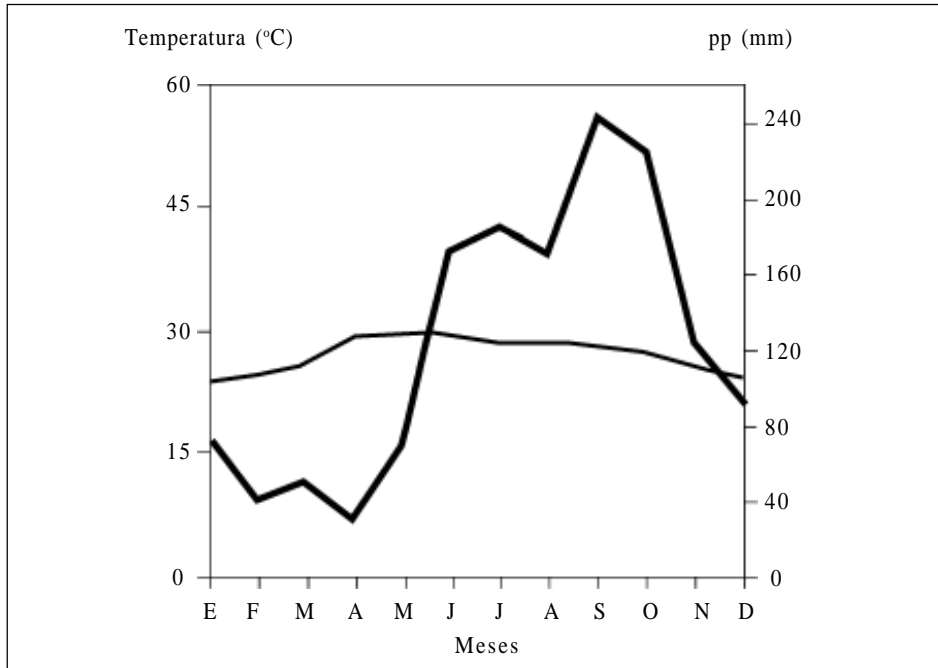


Climograma de una estación (Ciudad del Carmen).

Diagramas ombrotérmicos

Las gráficas o diagramas ombrotérmicos fueron diseñadas originalmente por Gaussen y Bagnouls (1954) (Citado en García et al., 1983) En estas gráficas la condición es que la escala de la precipitación es el doble de la temperatura de acuerdo con la fórmula $p= 2t$. A partir de la representación gráfica, se extraen las siguientes áreas: sequía relativa, déficit hídrico, condición de humedad, superávit de lluvia. García y colaboradores (1983) realizaron adaptaciones a los diagramas ombrotérmicos al modificar la fórmula $p= 2t$ al introducir unas constantes que Köppen utilizó para definir regímenes de lluvia, a saber: $2t$ para sitios con régimen de lluvias de invierno, tipo mediterráneo, $2t+ 14$ para régimen de lluvias uniformemente repartidas, $2t+28$ régimen de lluvias de verano y $2t+ 21$ para regímenes de verano y alto porcentaje de lluvia invernal (mayor de 10.2) (Figura 6).

Figura 5



Climograma según el criterio de Péguy

Sistemas de clasificación climática

Todo sistema de clasificación tiene por objeto disponer la información en forma simple y generalizada. Por consiguiente, las estadísticas climatológicas pueden ser organizadas de manera que describan y delimiten los principales tipos de clima en términos cuantitativos. Es evidente que no existe una clasificación climática única que pueda utilizarse de manera satisfactoria para más de un número limitado de fines, por lo que se han desarrollado varios esquemas distintos. Algunos proporcionan un sistema adecuado de nomenclatura, mientras que otros constituyen los preliminares necesarios para un estudio posterior. Así, por ejemplo, existen diversas clasificaciones de las relaciones entre el clima y la vegetación o el suelo, pero aunque resulte sorprendente, son escasos los intentos realizados para basar una clasificación sobre los efectos directos del clima en el hombre.

Los enfoques para las clasificaciones climáticas se dividen, por lo general en el método aplicado o empírico y el método genético. El primer método se basa en las características observadas, como son los elementos climáticos. El método genético está basado en los factores que determinan los diversos climas -como,

Figura 6

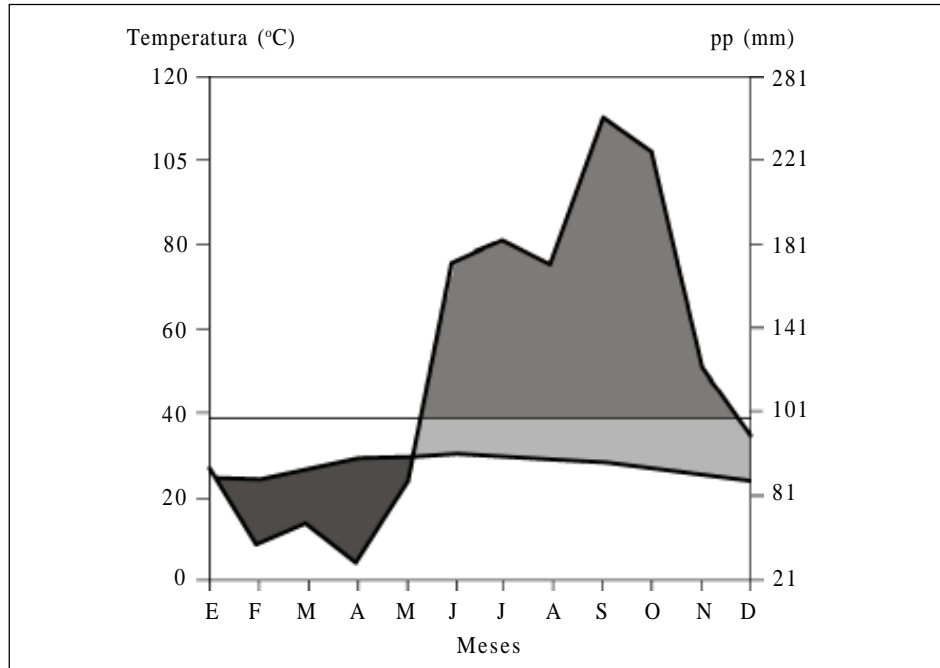


Diagrama o gráfica ombrotérmica de Ciudad del Carmen

por ejemplo, los grandes sistemas de presión y de viento-. Así, desde la época de la Grecia clásica se advirtió la relación entre la latitud y la temperatura, estableciéndose la clasificación climática “tórrida”, “templada” y “fría”, que todavía persiste. Los elementos climáticos más frecuentemente usados para definir los diferentes tipos de clima son la temperatura y la precipitación; sin embargo, no es posible ignorar otros elementos del clima como la nubosidad, los vientos, la radiación solar, etc.

Clasificaciones empíricas o efectivas

La mayor parte de las clasificaciones tienen como base la vegetación y no a los elementos climáticos. La vegetación natural, según esta idea, se integra a los efectos del clima mejor que cualquier instrumento meteorológico. Es, en consecuencia, uno de los índices de las condiciones climáticas.

Se han encontrado numerosas correlaciones entre los factores climáticos y la vegetación, por lo que ésta sigue siendo la base de las clasificaciones más usadas,

aún cuando el clima no es el único factor que afecta a la vegetación natural. Empleando esta base, los climatólogos, botánicos o fitogeógrafos han partido de las asociaciones vegetales principales y a través de éstas, han intentado determinar los factores climáticos responsables de las diferencias zonales de vegetación.

El sistema de clasificación más utilizado es el propuesto por Köppen. Éste intentó relacionar el clima con la vegetación, según una base numérica objetiva, para definir cada tipo climático. Así, empleando el mapa mundial de vegetación de A. De Candolle, Köppen ideó su clasificación en 1884. Posteriormente en 1918, revisó su trabajo poniendo en esta ocasión más énfasis en la temperatura y la lluvia.

En 1931, Thornthwaite, utilizando datos de evaporación, derivó una fórmula empírica con la cual se puede calcular el cociente P/E, a partir de datos mensuales de lluvia y temperatura.

Cuando se hace referencia al clima de un sitio o de una región, siempre será en comparación con otros. En el afán de contar con estas comparaciones, han surgido las clasificaciones climáticas. Con el afianzamiento de la climatología como disciplina, durante la primera mitad del siglo XX se introdujeron un considerable número de clasificaciones. A continuación se mencionarán algunas de las más importantes como referencia; al final se detallará un poco la de Köppen modificada por García (1964) (citado por García, 1988) que es la utilizada oficialmente en México.

El Sistema de Miller, ha sido muy usado en Gran Bretaña, es una clasificación muy simple y descriptiva; está basada en las divisiones de las zonas térmicas y sus subdivisiones dependiendo la estacionalidad de la precipitación y por ende, se basa en los límites de la vegetación. El sistema de Miller utiliza el índice de Martonne que define la aridez a partir de la fórmula: $P < T/5$ que está definida porque la cantidad de lluvia recibida es menor que un quinto de la temperatura. La clasificación se completa con la superposición de la distribución estacional de la lluvia, lo que da tres tipos diferenciados: a) Areas con lluvia en todas las estaciones; b) Areas con marcada sequía estacional; y c) Area seca $P < T/5$. El sistema de Miller define los grupos siguientes: A climas cálidos; B climas cálido templados; C climas templados fríos; D climas fríos; E climas árticos; F climas desérticos; y G climas montanos.

El Sistema de Péguy, también ha sido elaborado con fines de comparación, entre diversos ambientes climáticos del planeta; al igual que el de Miller, se basa en las clasificaciones hechas por de Martonne. Este sistema se apoya en las gráficas a manera de climograma que han sido descritas en la sección correspondiente. Debido a que las gráficas incluyen todos los meses, entonces se considera la sucesión climática a lo largo del año por medio de la combinación de precipita-

ción y temperatura. Las secciones de los climogramas son: G meses fríos; F meses fríos y húmedos; O meses templados óptimos; A meses áridos; y T meses tropicales.

El Sistema de Troll está basado en los sistemas biológicos e incluye las variaciones en las estaciones térmicas e hídricas del año. Para usar ambos factores se utilizan los diagramas de termoisopletas como una parte integral del sistema. En estos diagramas se ven las variaciones de la temperatura diurna y a lo largo del año. El autor considera relevante para los climas tropicales la estacionalidad hídrica, mientras que para los climas extratropicales es más importante la estacionalidad térmica. Los climas resultantes tienen una estrecha relación con la distribución de las plantas; las zonas climáticas que se describen son: I) Zonas polares y subpolares, II) Zona fría templada boreal; III) Zona fría templada; IV) Zona esteparia; V) Zonas templadas cálidas subtropicales; VI) Zonas tropicales; y VII) Zonas litorales con brumas estacionales.

El Sistema de Thornthwaite, está basado en el cálculo de índices y regímenes localizados en gráficas, de la siguiente manera: a) Cálculo de los índices de efectividad de la lluvia P-E a través de $P/T-10$; b) Determinación del índice de eficiencia de la temperatura y cálculo de la evapotranspiración potencial; y c) Determinación del régimen de humedad estacional y d) determinación de la concentración estival de eficiencia térmica. Los pasos para calcular cada uno de los índices se realizan a través de localización en gráficas diseñadas especialmente por Thornthwaite y sus seguidores. La resultante es la conformación de ocho grupos y 32 tipos de clima. Posteriormente ha habido la segunda y tercera modificación al sistema de este autor, en la que se considera las características del suelo y la cubierta vegetal, por lo que este sistema más completo realmente describe unidades del paisaje.

El Sistema Köppen está basado inicialmente en la clasificación de los grupos de plantas de acuerdo a de Candolle y asumiendo que los biomas del planeta comparten hábitats de aproximadamente el mismo clima. Es así que Köppen divide a los climas en los grupos (Primera letra): A tropicales cálido húmedos; B secos: BS secos esteparios, BW secos áridos; C subtropicales; D templados; E boreales: ET climas de tundra, EF clima de hielos perpetuos; F polares; y H de tierras altas. Asigna diferentes regímenes de lluvia que son (segunda letra): w régimen de lluvia de verano; por lo menos 10 veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo que en el mes seco de la mitad fría del año; s régimen de lluvia de invierno, por lo menos tres veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad fría del año, que en el mes más seco; x' régimen de lluvias intermedio, no se cumplen ninguna de las dos condiciones anteriores; y f régimen de lluvias abundante todo el año, tampoco con este se cumplen los requisitos de w y s.

Se asignan también condiciones de temperatura (excepto para los A, en vista que el requisito para pertenecer a este grupo es que el sitio tenga una temperatura media superior a los 22° C). Las condiciones de temperatura se asignan con los siguientes símbolos (tercera letra): Grupo B (BS y BW) (h temperatura media anual superior a 18° C; h' temperatura de todos los meses mayor de 18° C; k temperatura media anual menor de 18° C; y k' temperatura de todos los meses menor de 18° C); Grupo C y D (a con verano caliente, temperatura media del mes más caliente mayor de 22° C; b con verano fresco, temperatura media del mes más caliente menor de 22° C; c con verano frío y corto, temperatura del mes más caliente menor de 22° C y menos de 4 meses con temperatura mayor de 10° C ; y d (solamente en los D) promedio de temperaturas del mes más frío menor de 38° C.

Otras letras adicionales que aparecen en el sistema son: n con nieblas frecuentes; i isotermal con diferencias de temperatura media del mes más frío y el más caliente con menos de 5° C; w'' dos máximos de lluvia separados por dos temporadas secas; g marcha de la temperatura con un máximo antes del solsticio de verano como en Ganges; w' máximo de lluvias en otoño

La adición de las letras de grupo, régimen de lluvias, condiciones de temperatura, dan lugar a las “formas climáticas”.

Sistema de Köppen modificado para las condiciones de México

Para algunos climatólogos y el propio autor, el sistema original de Koeppen requería modificarse a condiciones ambientales más locales. Fue la opinión de algunos investigadores además, que el sistema debía de hacerse más didáctico, por lo que algunos se dieron a la tarea en hacerlo. Russell en 1926 realizó la primera modificación al cambiar los límites entre los climas C y D en vez de 26.6 °F a 32 °F. Ackerman en 1941 propuso una fuerte modificación al sistema para que pudiera ser aplicado en Norteamérica. Con la anuencia del propio Köppen, Geiger y Pohl en 1953 publicaron una modificación a su sistema original. Posteriormente, Trewartha en 1954 emprendió sendas modificaciones; en 1964 y 1966 Shear modifica los climas ET e introduce dentro de estos a los de influencia marítima al subgrupo EM y los climas BS que estando en la frontera con los A y C deberían ser BSC y BSA respectivamente. La última modificación de Trewartha implicó cambios en la simbología tales que el sistema resultó muy cambiado respecto al original.

En México Enriqueta García realizó, desde 1964 una serie de modificaciones y adaptaciones a las condiciones particulares del país. Köppen en su obra original menciona que es necesario estudiar a profundidad los climas de las montañas

tropicales, como sería el caso de gran parte del territorio nacional, con lo que se justifica la necesidad de realizar dichas modificaciones. El sistema modificado, resultó con un gran paralelismo respecto a la vegetación, por lo que se apega a la realidad. Este sistema ha sido adoptado de manera oficial en el país y a partir de este se ha generado la cartografía que se usa de base en planes de desarrollo. El sistema modificado por García conserva de inicio la misma simbología aunque se introducen los cambios al sistema de Köppen. En las figuras 7 y 8 se presentan las principales características del sistema de Köppen modificado. Dichas modificaciones son:

1. Se introducen subgrupos climáticos semicálidos de los cálidos y de los templados A (C) y (A) C.
2. Se introducen para diferenciar grados de humedad el índice de Lang o P/T y sus límites importantes: 55.3, 55.0, 43.2 para los subhúmedos y 22.9 para diferenciar entre los secos esteparios y áridos.
3. Se definen la oscilación térmica en las siguientes letras i isothermal, (i') con poca oscilación térmica, (e) extremoso, y (e') muy extremoso.
4. Se definen los límites de porcentaje de lluvia invernal importantes: menor de 5, entre 5 y 10.2 , mayor de 10.2 y menor de 18, mayor de 18, mayor de 36 y menor de 36.
5. Se introduce el valor rh, que no había considerado Köppen $2t + 21$ que describe un régimen de lluvias de verano y alto porcentaje de lluvia invernal.
6. Se definen otros regímenes de lluvia en México: f(m), (f)m, (fm), w_2 , w_1 , w_0 , $w(w)$, $w_{1,2,3}(w)$, $w_{1,2,3}(x')$, $x'(w_{1,2,3})$, $s(x')$.
7. Se introduce el concepto de tipo climático: El grupo climático + régimen de lluvias.
8. Se introduce el concepto de variantes climática: tipo climático + letras adicionales (como sequía intraestival, ganges, condiciones de temperatura, oscilación de la temperatura).

Para estudios relacionados con ecología o con recursos naturales, se invita a utilizar el sistema de Köppen modificado por García, ya que se ha encontrado que guarda una estrecha relación con la distribución de la vegetación. Lo anterior lo distingue como que cada variante climática representa unidades ambientales, lo que lo hace muy práctico.

Figura 7

CUADRO 1 GRUPOS, SUBGRUPOS, TIPOS Y SUBTIPOS CLIMÁTICO				
GRUPO DE CLIMAS	SUBGRUPO CLIMÁTICO	TIPOS	SUBTIPOS	VARIANTES
A Cálido húmedo y subhúmedo temperatura media del mes más frío > 18° precipitación anual igual o mayor al valor calculado por la fórmula v_h del cuadro 2.	A Cálido temperatura media anual > 22° temperatura del mes más frío > 18°	T (w) T (w) T (w) T (w) T (w)	$w_2(x^1); w_3(x^1); w_0(x^1)$ $w_2^0; w_3^0; w_0^0$ $w_2^1; w_3^1; w_0^1$ $w_2^2; w_3^2; w_0^2$	a a a a a
	A(C) semicálido del grupo A temperatura media anual entre 18° y 22° T del mes más frío > 18°	T (w) T (w) T (w)	$w_2(x^1); w_3(x^1); w_0(x^1)$ $w_2^0; w_3^0; w_0^0$ $w_2^1; w_3^1; w_0^1$	
C Templado húmedo y subhúmedo T media del mes más frío entre -3 y 18° T media del mes más caliente > 6.3° P anual igual o superior al valor calculado por la fórmula v_h del cuadro 2	(A)C semicálido del grupo C T media anual > 18° T del mes más frío < 18°	T (w) T (w) T (w)	$w_2(x^1); w_3(x^1); w_0(x^1)$ $w_2^0; w_3^0; w_0^0$ $w_2^1; w_3^1; w_0^1$	(a) a (a) a (a) a
	C Templado T media anual entre 12 y 18° T media anual entre 5 y 12°	T (w) T (w) T (w)	$w_2(x^1); w_3(x^1); w_0(x^1)$ $w_2^0; w_3^0; w_0^0$ $w_2^1; w_3^1; w_0^1$	
B Seco P anual inferior al valor calculado por la fórmula v_h del cuadro 2	B(h') y B(h'')h cálidos B(h')D) y B(h'') semicálidos B(h') y B(h'') templados B(h') y B(h'') semifrío	B (w) B (w) B (w) B (w)	$w_2(x^1); w_3(x^1); w_0(x^1)$ $w_2^0; w_3^0; w_0^0$ $w_2^1; w_3^1; w_0^1$	g g g g
	E Frío T media del mes más caliente < 6.5°	E(T)H) y E(T)H) fríos T media anual entre -2 y 5° EFE muy frío T media anual < -2°	E (w) E (w) E (w)	

En este cuadro sólo se señalan los valores a nivel de grupo y subgrupo. Los parámetros variantes se indican en los cuadros siguientes.

El ordenamiento de los símbolos en la fórmula climática es como aparece en este cuadro, E); A(C)B (f)w (i)g; excepto en los climas secos B en los que la letra del subtipo va a continuación de la del grupo climático; y la del tipo después de la del subgrupo; B(h')D)w(h'')

Cuadro original extraído de la obra de García (1988) en el que se describen los grupos y tipos de climas encontrados en México.

Cartografía

Durante los últimos 40 años, en nuestro país se ha desarrollado un importante avance en las investigaciones en climatología y meteorología en lo teórico y en lo práctico y ha generado una extensa cartografía que se puede consultar. En la actualidad se desarrollan investigaciones en estos campos en facultades e institutos de universidades y dependencias gubernamentales. A continuación se mencionan los principales sitios:

UNAM: institutos de Geofísica, Geografía, Centro de Ciencias de la Atmósfera, Facultad de Ciencias, Facultad de Filosofía y Letras (Colegio de Geografía); Universidad Autónoma de Chapingo y Colegio de Posgraduados; UAM: Escuela de Arquitectura (Bioclimatología); Universidad de Guadalajara, Facultad de Geografía; Universidad Nicolaita de Michoacán, Facultad de Geografía; Universidad de Estado de México, Facultad de Geografía; Universidad Veracruzana en Jalapa, Escuela de Meteorología; Universidad Autónoma de Tamaulipas; Universidad Autónoma de Chihuahua; Comisión Nacional del Agua: Servicio Meteorológico

Figura 8

GRADOS	COCIENTE P/T	REGÍMENES DE LLUVIAS					
		En verano: Por lo menos 10 veces mayor cantidad de precipitación en el mes más húmedo de la estación del año que en el mes más seco. Esto no necesariamente se cumple con los climas A.		Discrepancia entre verano e invierno: al el máximo de precipitación se alcanza en la mitad caliente del año, no llega a 10 veces la del mes más seco; si está en invierno, no llega a tres veces		En invierno: por lo menos tres veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la estación fría del año, que en el mes más seco	
		$^{10}r_{10} = 2t + 18$ $^{10}r_{10} = 2t + 18$	$r_{10} = 2t + 21$ $r_{10} = 2t + 21$	$r_{10} = 2t + 14$ $r_{10} = 2t + 14$	$r_{10} = 2t$ $r_{10} = 2t$		
UNIDAD							
PORCENTAJE DE PRECIPITACIÓN GENERAL RESPECTO A LA TOTAL ANUAL							
menor de 5 entre 5 y 10.1 mayor de 10.1 menor de 18 mayor de 18 menor de 30 mayor de 30							
SEMIHÚMEDO	No límite se establece por P/T, sino según las grillas del cuadro B, C	w(w)	a	w(w)	f(w)	f	No se presentan en México
SEMIÁRIDO	P/T > 33.0 en los climas C, INOC, M	w ₂ (w)	w ₂	w ₂ (w)	w ₂ (w)		
	P/T < 33.0 en los climas A y AOC	w ₂ (w)	w ₂	w ₂ (w)	w ₂ (w)		
	43.2 < P/T < 35.0 en los climas C, INOC, M	w ₂ (w)	w ₂	w ₂ (w)	w ₂ (w)		
GRUPOS A, C & E	43.2 < P/T < 35.3 en los climas A y AOC	w ₁ (w)	w ₁	w ₁ (w)	w ₁ (w)	a'	w(w)
	P/T < 43.2, INOC, M, A y AOC	w ₁ (w)	w ₁	w ₁ (w)	w ₁ (w)		
SEMIÁRIDO S ₁	P/T > 22.9						
ÁRIDO S ₂	P/T < 22.9	w(w)	w	w(w)	w(w)		
MUY ÁRIDO S ₃	No límite se establece por P/T, sino conforme a la fórmula r ₁₀						

= cantidad mínima necesaria de precipitación anual (expresada en cm), para que el clima sea húmedo o subhúmedo; si la estación cuyo clima se clasifica tiene una precipitación anual que es el valor calculado de r₁₀, el clima es seco S; r₁₀ es el límite entre los secos y los húmedos y subhúmedos.
 = cantidad mínima necesaria de precipitación anual (expresada en cm), para que el clima sea S₁ en cualquiera de sus dos modalidades; si la estación cuyo clima se clasifica tiene una precipitación anual menor que el valor calculado para r₁₀, el clima es muy árido S₂; r₁₀ es el límite S₁/S₂ o límite de los meses secos si.
 = temperatura media anual expresada en grados centígrados, de la estación por clasificar.
 La edad calórica del año en el hemisferio norte comprende de abril a septiembre.

Cuadro original extraído de la obra de García (1988) en el que se describen los límites de P/T y regímenes de lluvia encontrados en México

Nacional, IMTA, CENAPRED; Comisión Federal de Electricidad; Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática; CONACYT; Colegio de Michoacán; Centro GEO- J. L. Tamayo; El Colegio de la Frontera Sur; Centro de Investigación Científica de Yucatán; CICESE.

En todos estos centros de investigación se ha generado una cartografía climatológica como la que se menciona a continuación:

- a) CETENAL 1970. Carta de Climas con isoyetas e isotermas escala 1: 500 000. Todo el país;
- b) Plan Nacional Hidráulico- SARH 1976. Atlas del Agua. Escala 1:4000 000;
- c) DETENAL-SPP 1980-83. Carta de climas, isoyetas e isotermas escala 1: 1000 000. Todo el país.; 1984 Distribución de la precipitación mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre, diciembre, periodo lluvioso, periodo seco, distribución de la función gamma, de la función beta, moda de la lluvia calculada, moda anual, Coeficiente de variabilidad de la lluvia. Escala 1: 4000 000;
- d) Evapotranspiración potencial y déficit de agua, humedad del suelo,

topografía, fisiografía, uso del suelo y vegetación, escala 1: 1000 000; e) SIGSA, S.A. 1983. Carta de climas escala 1:2500 000.; y f) - CONABIO 1998. Cartas de climas, isoyetas e isotermas escala 1:1000 000.

Las cartas que pueden ser utilizadas como mapa base son: a) Cartas de la Secretaría de la Defensa Nacional (topográficas) escalas 1: 500 000, 1: 250 000, 1: 100 000, 1: 25 000; b) Carta Aeronáutica Americana escala 1: 1000 000; y c) Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Mapas de Carreteras (32 estados) varias escalas; INEGI (Topográficas escalas 1: 50 000, 1: 250 000, 1: 1000 000, Batimetría 1: 1000 000, Uso del suelo y vegetación 1: 1000 000, 1: 50 000, Fisiografía 1: 1000 000, Uso potencial: agricultura, forestería, ganadería todas escala 1: 1000 000 y 1: 250 000, Geología, Edafología, ambas escala 1: 250 000); d) Atlas Nacional de México, UNAM 1991 Tomo 2. Naturaleza, CLIMA (Observatorios, Estaciones Meteorológicas e Insolación, Viento dominante durante el año, Energía del viento dominante, Temperatura media, Precipitación, Otros fenómenos climáticos, Moda o valor más frecuente de Precipitación mensual y anual, Medidas de Aridez y Climas). AGROCLIMATOLOGÍA: (Canícula, Temperaturas efectivas y frutales) HIDROGEOGRAFÍA (Hidrogeografía e Hidrometría, Regímenes de humedad del suelo, Hidrogeología, Escurrimiento medio anual, Escurrimientos máximos y mínimos y Evapotranspiración real).

También pueden usarse como base, las fotografías aéreas y las imágenes de satélite, siempre y cuando se haga una restitución preliminar que posteriormente sea cotejada posteriormente en el campo y se localice algunas estaciones meteorológicas en la zona y se relacionen los datos con lo observado en las imágenes.

La forma más común de representar las variables climáticas es por la representación cartográfica en forma de áreas dentro de una región o por medio de isolíneas. Las isolíneas son representaciones de bandas con el mismo valor. Para el trazo de isolíneas, se sigue una metodología en la que se requiere supervisión de alguien con experiencia. Cuando se realiza algún mapa temático en climatología, se siguen aproximadamente los siguientes pasos:

1. Búsqueda de información climatológica, recurriendo a las dependencias adecuadas que se explicaron párrafos arriba (CNA, SMN, CFE, etc.).
2. Cálculo de promedios, sumas o resúmenes que se necesiten.
3. Búsqueda de información necesaria para establecer un mapa base: en este se localizan las estaciones climatológicas que se utilizan en el trabajo, se utilizan las coordenadas geográficas y la escala del mapa, así como el tipo de proyección.
4. Se obtienen copias del mapa base. Se vacía la información que se analizará en cada punto que representa a cada estación.

5. Se usa como mapa de guía, un mapa topográfico, ya que el relieve es un factor climático determinante en el comportamiento climático de una zona.
6. Se procede al trazo de isolíneas, siempre tomando como referencia el relieve, la distancia relativa al mar, la geomorfología, la cubierta vegetal y otros factores que se sabe tienen influencia.
7. Hay varios métodos para el trazo de isolíneas, entre estos está el método de Thiessen o de triangulación. Este se basa en que si se tienen 3 puntos con 3 valores distintos, se puede entre cada línea establecer gradientes.
8. Se asignan las isolíneas de valores cerrados o conocidos, como por ejemplo isotermas de 20, 22, 24, 26 ° C sucesivamente por ejemplo, o isoyetas (lluvia) de 500, 600, 700, 800 mm sucesivamente. Los días con... también se pueden representar y se denominan isocronos; las isopletas son representaciones de una combinación de valores con el tiempo y las isobaras, unen puntos con el mismo valor de presión atmosférica.

Sistemas de información geográfica

La cartografía obtenida a partir de la teledetección constituye una variable más dentro de un sistema de información integrado, tan interesante para el mejor conocimiento del espacio que nos rodea. En pocas palabras, la teledetección, en este contexto, constituye una técnica más de la información territorial, que, unida a otros datos cartográficos o estadísticos, facilita una evaluación más certera del paisaje, necesaria para su mejor aprovechamiento o conservación. Este tipo de enfoques se ha visto notablemente favorecidos por las nuevas tecnologías de almacenamiento, manipulación y salida gráfica de la información espacial. De esta forma, han nacido los denominados Sistemas de Información Geográfica (SIG), que pueden definirse como bases informatizadas de datos con algún tipo de componente espacial. Esto significa que la información que almacenan está referenciada geográficamente, ya se trate de mapas, estadísticas o datos climáticos sobre un territorio concreto, por lo que todas estas variables pueden relacionarse mutuamente de formas muy diversas. Por cuanto la información que contienen se almacena en forma digital, los SIG aprovechan las posibilidades analíticas de los ordenadores, facilitando múltiples operaciones que resultan ser difícilmente accesibles por medios convencionales: generalización cartográfica, integración de variables espaciales, análisis de vecindad, etc. Además, los SIG permiten almacenar esa información espacial de forma eficiente, facilitando su actualización y acceso directo al usuario. En definitiva, amplían enormemente las posibilidades de análisis que brindan los mapas convencionales, además de facilitar su almacenamiento y visualización (Chuvienco, 1995).

Un SIG está compuesto por unos equipos, especializados en el manejo de información espacial, y una serie de programas que, conectados con aquéllos, permiten realizar múltiples transformaciones a partir de las variables espaciales introducidas al sistema. El SIG, no es un producto cerrado en sí, sino un compuesto de elementos diversos: ordenador, digitizador, trazador gráfico, impresoras, distintos paquetes de programas, orientado hacia una finalidad específica. También existen SIG comerciales, que intentan recoger todos estos productos bajo una misma estructura, si bien lo más habitual, en el momento presente, sea la comercialización exclusiva de los programas, que pueden adaptarse a configuraciones HARDWARE muy amplias.

El empleo de esta tecnología permite integrar y analizar gran cantidad de información de naturaleza espacial (o geográfica) y no espacial (o de atributos), que hasta hace poco tiempo era muy difícil hacerlo de manera manual o mediante interpretación visual.

Resulta difícil dar una sola definición de SIG ya que revisando la bibliografía, al respecto, se encuentran tantas definiciones como aplicaciones se le den. Sin embargo de manera concreta se define a un SIG como una herramienta para “almacenar, manipular, analizar y desplegar información espacial (mapas, imágenes de satélite) y no espaciales (atributos)”.

Los SIG permiten la captura, organización, manipulación, análisis, modelado y presentación de información espacial, donde la referencia geográfica es una de las características más importantes para su análisis. La referencia geográfica puede ser del orden de aspectos tanto físicos como sociales.

Desde hace mucho tiempo los geógrafos y otros científicos de la tierra están acostumbrados a estructurar la información en mapas temáticos, según sean los aspectos del espacio que nos interese estudiar. De la misma forma un SIG divide la realidad en distintos temas, es decir, en distintos capas o estratos de la zona que se desea estudiar: el relieve, la litología, los suelos, los ríos, los asentamientos, las carreteras, los límites administrativos, etc. La ventaja de los SIG es que esta información puede ser manejada de diversas formas, es decir se pueden hacer tantas combinaciones de información como sea necesario, estas pueden ir desde lo más sencillo hasta lo más complejo. Cabe recordar que un SIG no es simplemente un Software que se utiliza para dibujar más, aunque es una de las partes que lo conforman, éste va más allá y permite realizar análisis espaciales que posteriormente permitirá tomar decisiones con relación a lo que se analiza. En cualquier campo de aplicación las características cualitativas y cuantitativas de la realidad se registran y manipulan en forma de mapas. Los SIG se distinguen más por su capacidad analítica que por su capacidad de diseño de cartografía. Los SIG son capaces de definir “escenarios”, es decir, de crear modelos que permitan suponer y prede-

cir el comportamiento de una o más variables que se expresan en el espacio geográfico con base en el análisis previo de la información, llevada a cabo dentro del mismo SIG. Los sistemas de cartografía automatizada, se limitan al diseño de mapas y carecen de poder analítico (salvo algunos sistemas, tradicionalmente de diseño, que han comenzado a incorporar técnicas de SIG); se restringen, en el mejor de los casos, a aportar datos de superficie y longitudes (Bosque, 1997).

Los Sistemas de Información Geográfica consisten de cuatro componentes básicos: recopilación de información de entrada, base de datos geográficos, análisis y modelamiento de la información y visualización y finalmente la representación de la información.

A manera de ejemplo se puede mencionar el SIG: ILWIS, que es un acrónimo del Integrated Land and Water Information System. Este es un Sistema de Información Geográfica (SIG) con capacidades de procesamiento de imágenes. Ilwis fue desarrollado por el International Institute for Aerospace Survey & Earth Sciences, Enschede (ITC), The Netherlands. Por más de una década, desde 1985, el software ha ido mejorando. En primera instancia el SIG se manejaba desde ambiente para DOS y en la actualidad ha cambiado a ambiente Windows marcando así una nueva era en el desarrollo de este software. Ilwis permite introducir, manejar, analizar, procesar y presentar datos geográficos. De estos datos se puede generar información en patrones espaciales y temporales de diferentes procesos en la superficie de la tierra. Esta versión para Windows, integra al SIG con aplicaciones de Sensores Remotos, entre las cuales se pueden mencionar: despliegue de mapas *raster* y varios mapas vectoriales en una sola ventana, despliegue de tablas en ventanas, interacción con información de atributos, procesamiento de imágenes, etc., (MOPT, 1992; Chuvieco, 1995).

Referencias

- Ayllón T. T. y Gutiérrez R. J. 1983. *Introducción a la Observación Meteorológica*. Limusa, México.
- Bosque S. J. 1997. *Sistemas de Información Geográfica*. Ediciones Rialp, S. A. Madrid, España.
- Burroughs W. J., Crowder B., Robertson T., Vallier- Talbot E. y Whitaker R.. 1998. *Observar el tiempo*. Ed. Planeta. Singapore.
- Chuvieco E. 1995. *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Ediciones Rialp, S. A. Madrid. 397- 400.
- García E. 1989. *Apuntes de Climatología*. Edición del autor. México. D.F.

- García E., Hernández M. E. y Cardoso M. D. 1983. Las gráficas ombrotérmicas y los regímenes de lluvia en la República Mexicana. Memoria del IX Congreso Nacional de Geografía. Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística. Guadalajara. Pp 140-149.
- Griffiths J. F. 1976. *Applied Climatology*. Oxford University Press, Oxford, EUA.
- Henderson – Sellers A. y Robinson P. J. 1996. *Contemporary Climatology*. Longman. Singapore.
- Mc Gregor G. y Niewolt S. 1998. *Tropical Climatology. An Introduction to the climates of the low latitudes*. J. Wiley & Sons. Chichester.
- MOPT. 1992. Guía para la elaboración de estudios de Medio Físico: Contenido y Metodología. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Madrid. Pp. 95-128.
- Oliver J. E. 1973. *Climate and Man's Environment*. John Wiley & Sons. New York, EUA.
- Ortiz Solorio C. 1987. Elementos de agrometeorología cuantitativa con aplicaciones en la República Mexicana. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo. México. Pp. 54-130.
- Torres R. E. 1995. *Agrometeorología*. Trillas, México.
- Torres R. E. 1997. *Prácticas de Agrometeorología*. Trillas, México.

III. LOS ORGANISMOS

Sin duda, el estudio de los organismos asociados a distintas áreas es una de las temáticas más comunes entre manejadores de recursos. Para iniciar estos estudios se requiere de bases sólidas en el diseño del muestreo que permitan obtener representatividad en las muestras y poder tomar las decisiones con la información correcta.

Este planteamiento básico implica una gran complejidad. Aunque en principio el muestreo de los distintos grupos de organismos está sustentado en los mismos principios, existen muchas diferencias en la biología de los organismos que se traducen en ajustes metodológicos indispensables.

El muestreo de organismos sésiles como las plantas o de los microorganismos del suelo, requiere de técnicas y métodos muy diferentes a los empleados en comunidades y poblaciones de moluscos, insectos o vertebrados. De la misma manera, entre los distintos grupos animales las diferencias no son menores. Este apartado no incluye todos los grupos animales, ya que se hubiera requerido de mucho mayor amplitud, sin embargo, se seleccionaron algunos grupos que pueden ser un buen modelo de muestreo y que proveen metodologías que pueden ser aplicadas a otros grupos zoológicos no incluidos.

Este apartado incluye las técnicas para muestrear los microorganismos del suelo, insectos terrestres (aunque se hacen algunas menciones a acuáticos), moluscos, aves, mamíferos y vegetación.



6

MICROORGANISMOS DEL SUELO

José Alberto Ramos Zapata*

Introducción

Para entender la fisiología de un microorganismo en el suelo, es necesario que la naturaleza física y química del ambiente suelo sea entendida. El suelo consiste de minerales de varios tamaños, formas y características químicas, junto con las raíces de las plantas, población de organismos vivos y un componente de materia orgánica en varias etapas de descomposición. La porción abiótica del ecosistema del suelo posee varios componentes reconocibles: las condiciones físicas y químicas y los aspectos estructurales.

Cada especie de microorganismo posee un valor óptimo para cada factor físico y químico, que influye en su crecimiento o actividad, los cuales declinan a ambos lados del valor óptimo, influyendo en el desarrollo de la población total.

Superficies. Principalmente arena, arcilla y limo. Las arcillas retienen iones y una gran variedad de las enzimas del suelo por lo que muchas de las reacciones son llevadas a cabo en esta superficie. Contribuyen a la formación de espacios porosos que pueden afectar el comportamiento de las comunidades microbianas (Lynch, 1983; Rutherford y Juma, 1992; England *et al.*, 1993; Killham, 1994).

Agua. El agua es indispensable para la movilidad de los microorganismos del suelo. La cantidad de agua en el suelo depende de su textura y estructura, los poros muy pequeños retienen fuertemente el agua contra la fuerza de gravedad, pero también impiden que algunos organismos la puedan emplear (Lynch, 1984; Lynch y Hobie, 1988; Saring *et al.* 1992).

* Departamento de Biología Experimental. FMVZ, Universidad Autónoma de Yucatán, México.

Temperatura. Las actividades microbianas son gobernadas por las leyes de termodinámica. Los cambios en la temperatura del suelo tienen marcada influencia sobre la actividad microbiana. Un aumento en la temperatura tienen un efecto estimulador si la humedad no es limitante (Lynch y Hobie, 1988).

Acidez y alcalinidad. La composición de la comunidad microbiana del suelo es altamente dependiente del valor de pH del suelo. La medición del pH del suelo, puede indicar la capacidad de los suelos para soportar las reacciones microbianas.

Cuadro 1

Constituyentes	Diámetro o grosor (mm)
Inorgánicos	50-2000
Arena	2-50
Limo	< 2
Arcilla	
Microorganismos	
Bacteria	0.5-1.0
Actinomicetes	1.0-1.5
Hongos	0.3-10
Plantas	
Pelos radiculares	40-100

Tamaño de los constituyentes del suelo (Modificado de Lynch, 1983)

En el suelo se han hallado más de 1000 enzimas, algunas de las cuales son pH dependientes (Lynch, 1983; Sinsabaugh *et al.*, 1991; Killham, 1994).

Gases. Los gases del suelo son nitrógeno, oxígeno y bióxido de carbono. Esta atmósfera es el resultado de un número de procesos relacionados. En la respiración se utiliza oxígeno y se libera bióxido de carbono. Cuando el oxígeno desaparece, la actividad microbiana continúa en las comunidades capaces de emplear otros aceptores de electrones (Killham, 1994)(Cuadro 2).

Potencial Redox. Las actividades no fotosintéticas oxidan substratos reducidos obteniendo energía de origen orgánico e inorgánico produciendo ATPs. El aceptor de electrones efectivo en un suelo está determinado por el potencial redox del mismo (afinidad de una sustancia por ganar o perder electrones) (Lynch, 1983; Killham, 1994)(Cuadro 2).

Diversos componentes del suelo funcionan como fuente de nutrimentos para los microorganismos que lo habitan, entre ellos destacan: los minerales, materia orgánica, exudados radicales y biomasa (organismos y plantas). A continuación se mencionan brevemente:

Minerales del suelo. Captación de gran cantidad de energía por medio de la intemperización de los minerales. Producción de ácidos orgánicos por las pobla-

ciones quimioautótrofas, estas reacciones normalmente están acopladas a fuentes de energía luminosa (Paul y Clark, 1989; Hassink, 1994).

Materia orgánica. Fuente primordial de energía para los microorganismos. La materia orgánica es degradada por una serie de reacciones secuenciales, regidas por enzimas. La lignina es el componente vegetal más recalcitrante. La degradación provoca la formación de ácidos húmicos. La población microbiana en general lleva a cabo este proceso, siendo los hongos los descomponedores más

Cuadro 2

Aceptor terminal de electrones y producto final reducido	Proceso ambiental	Potencial redox a pH 7 (mV)	Biota del suelo involucrada
$O_2 + e^- = H_2O$	Respiración aeróbica	+820	Raíces de plantas, animales y microorganismos aeróbicos
$NO_3^- + e^- = N_2$	Denitrificación	+420	<i>Pseudomonas</i>
$Mn_4^+ + e^- = Mn_3$	Reducción de manganeso	+410	<i>Bacillus</i> , etc.
Materia orgánica + $e^- =$ ácidos orgánicos	Fermentación	+400	<i>Clostridium</i> , etc.
$Fe_3^+ + e^- = Fe^{2+}$	Reducción de hierro	-180	<i>Pseudomonas</i>
$NO_3^- + e^- = NH_4^+$	Reducción desasimilatoria de nitrato	-200	<i>Achromobacter</i>
$SO_4^{2-} + e^- = H_2S$	Reducción de sulfato	-220	<i>Desulfovibrio</i>
$CO_2 + e^- = CH_4$	Metanogénesis	-240	<i>Methanobacterium</i>

Secuencia de los aceptores terminales de electrones utilizados en el ambiente del suelo asociado con el potencial redox a un pH 7 (Modificado de Killham, 1994).

activos (Lynch y Hobie, 1988; Paul y Clark, 1989; Parkinson y Coleman, 1991; Sinsabaugh *et al.*, 1991; Killham, 1994).

Rizodeposiciones o exudados radicales. Se encuentran principalmente constituidos por carbohidratos (90%) y aminoácidos (10%). Crecimiento microbiano abundante alrededor de las raíces (Barber y Lynch, 1976), lo que provoca la incorporación de carbohidratos simples al metabolismo microbiano. Mientras que los carbohidratos complejos son degradados e incorporado en etapas secuenciales. Población microbiana de la rizosfera. Organismos simbióticos que de alguna

manera regulan las excreciones. Ej. *Rhizobium*, *Glomus*, *Phytophthora* (Subba Rao, 1982, Richards, 1987, Lynch y Hobie, 1988; Paul y Clark, 1989; Killham, 1994).

Biomasa viva. La cual se utiliza por medio de la ingestión de organismos vivos del suelo. Se emplean los otros microorganismos para su reproducción. Los protozoarios depredan bacterias. Hongos depredan nemátodos. Virus depredan bacterias (Parkinson y Coleman, 1991; England *et al.*, 1993; Hassink *et al.*, 1994; Hintze *et al.*, 1994).

Biomasa microbiana

La biomasa microbiana del suelo es la fuerza de conducción de la mayoría de los ecosistemas terrestres ya que esta biomasa controla la tasa de reciclamiento y mineralización de los substratos orgánicos (Parkinson y Coleman, 1991; Killham, 1994; van Elsas y Smalla, 1997).

Muchos de los suelos representan un ambiente «oligotrófico» nutricionalmente pobre. Los microorganismos y sus actividades, por lo tanto, no se encuentran a lo largo de todo el perfil del suelo, concentrándose únicamente en ciertos nichos o «manchas hospederas» tales como la rizosfera, tracto digestivo de algunos animales, cerca de substratos orgánicos e inorgánicos disponibles, y los más pequeños en los poros del suelo llenos de agua donde sus depredadores se ven excluidos (England *et al.*, 1993; Hassink, 1994).

Aunque menos del 0.5% del espacio poroso se encuentra realmente ocupado por los microorganismos, existen pocos, si algunos, poros en el suelo en los que no existan microorganismos. Los poros del suelo de mayor diámetro son accesibles para todos los microorganismos, mientras que los poros muy pequeños tienden a ser ocupados únicamente por ciertas bacterias. Incluso los poros muy pequeños serán ocupados por virus del suelo (Lynch, 1983; England *et al.*, 1993). La biomasa microbiana del suelo incluye a:

Las bacterias poseen una gran variedad de funciones en el suelo. La descomposición de animales, plantas y residuos microbianos es llevada a cabo por bacterias heterótrofas. Estas bacterias tienden a ser los miembros más numerosos de la comunidad microbiana del suelo y su selectividad de los substratos varía grandemente de una especie de bacteria a otra. Las bacterias quimioautótrofas del suelo, juegan un papel importante en los ciclos de nutrimentos (Alexander, 1980; Lynch, 1983; Parkinson y Coleman, 1991; Killham, 1994).

La composición de la población bacteriana del suelo frecuentemente puede indicar las condiciones físicas y químicas del mismo. La presencia activa de una bacteria como *Clostridium*, es indicativa de condiciones anaeróbicas, ya sea en el

suelo en su totalidad o bien en los micrositios. Ejemplos: *Rhizobium*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Clostridium*.

Muchos de los actinomicetos del suelo, son saprófitos de vida libre, capaces de descomponer una gran cantidad de substratos carbonados. Es debido a su habilidad para degradar compuestos altamente recalcitrantes tales como quitina, celulosa y hemicelulosa, en condiciones particulares de valores altos de pH del suelo, lo que hace que los actinomicetos sean altamente especializados. Entre los actinomicetos del suelo se encuentran especies patógenas, como es el caso de *Streptomyces scabies*. Muchos de los actinomicetos del suelo producen antibióticos como la estreptomycin. Los actinomicetos generalmente no constituyen una parte importante de la comunidad de microorganismos del suelo, sólo en condiciones severas y de gran estrés este grupo predomina en un suelo. Ejemplo: *Streptomyces* (Lynch, 1983; Killham, 1994).

En biomasa, los hongos son los dominantes en la microbiota del suelo. Los hongos poseen un amplio rango de funciones en el suelo, incluyendo su papel como simbioses de plantas, patógenos de plantas y animales, oligótrofos, e incluso carnívoros, sin embargo su papel más importante en el suelo desde el punto de vista ecológico, es la descomposición de la materia orgánica desde los azúcares simples y aminoácidos hasta polímeros muy resistentes como la lignina y complejos de ácidos húmicos del suelo. Gracias a su gran tolerancia a la acidez, comparado con las bacterias heterótrofas, la descomposición de la materia orgánica en suelos ácidos es en su mayoría realizada por hongos. El papel de los hongos como simbioses, específicamente en micorrizas, es de gran importancia para el desarrollo de plantas, por su papel en la toma de nutrimentos, resistencia a enfermedades y relaciones hídricas favorables. Ejemplos: *Glomus*, *Fusarium*, *Gigaspora*, *Trichoderma*, *Pythium*, *Penicillium* (Alexander, 1980; Lynch, 1983; Parkinson y Coleman, 1991; Killham, 1994).

La población de algas del suelo, ve restringida su distribución y actividad a las partes del suelo en las que penetra la luz solar. Por lo tanto la superficie del suelo y las grietas del mismo son las zonas de mayor actividad de las algas (Lynch, 1983; Killham, 1994).

En general, en suelos de climas templados, las algas verdes son las más abundantes. En suelos tropicales sin embargo, las algas verde-azules son las más numerosas y de mayor importancia ecológica (Lynch, 1983).

Debido a que las algas son fotoautótrofas, no dependen de materia orgánica preformada en el suelo, por lo que son de una importancia fundamental como colonizadores primarios de áreas desiertas expuestas a la luz solar. El papel de las algas como colonizadores, se ve reforzado por la producción de ácidos carbónicos como resultado de su metabolismo, lo cual acelera el intemperismo de los minerales y la formación de suelo, particularmente durante sus primeras etapas.

Ejemplos: *Chlorella*, *Clamydomonas*, *Nostoc*, *Anabaena*, *Pinnularia*, *Navicula*, *Heterothrix* *Heterococcus* (Alexander, 1980; Lynch, 1983; Killham, 1994).

Los protozoarios se restringen a ocupar los primeros 15 a 20 cm del suelo, debido a la gran cantidad de presas microbianas posibles de ser consumidas. Las actividades alimenticias de los protozoarios no se basan únicamente en la depredación de microorganismos, ya que pueden involucrarse en la descomposición primaria de la materia orgánica del suelo. Los protozoarios toman y procesan partículas orgánicas finas, tal como ocurre en el tracto digestivo de muchos animales, y juegan un papel importante en la descomposición de residuos celulolíticos. Ejemplos: *Ciliata*, *Amoeba*, *Paramecium*, *Flagellata* (Alexander, 1980; Lynch, 1983; Killham, 1994).

El suelo no es el hábitat natural de los virus y la única actividad que realizan es sobrevivir, comúnmente se encuentran recluidos en los espacios porosos pequeños. Los virus son parásitos obligados que requieren de la presencia de un hospedero para reproducirse. Aunado a lo anterior, el aporte en biomasa a la cantidad de biomasa total del suelo es insignificante (Killham, 1994).

Los únicos virus que han captado la atención de los microbiólogos son aquellos capaces de producir enfermedades en las plantas y que permanecen latentes en el suelo. Otro ejemplo de virus capaz de afectar económicamente al hombre, son aquellos bacteriófagos que atacan a *Rhizobium* (Lynch, 1983; Killham, 1994).

Técnicas de muestreo para el estudio de microorganismos del suelo

Aislamiento, cultivo e identificación de bacterias del suelo

Los ambientes naturales son extremadamente diversos y la mayoría contiene un amplio rango de microorganismos que reflejan la naturaleza del hábitat y la habilidad individual para competir exitosamente y coexistir en un ecosistema dado.

Muchas veces el microorganismo de interés se encuentra en una cantidad o concentración baja en el ecosistema, por lo que es necesario alguna forma de enriquecer el medio para favorecer el crecimiento del organismo, antes del aislamiento. Este enriquecimiento deliberado de un microorganismo a expensas de otros data del trabajo de Schloesing y Müntz (1877) que demostraron que la oxidación de compuestos amoniacales a nitratos era un proceso biológico, esta técnica de enriquecimiento llevaron a Winogradsky y Beijerinck a fundar la ecología y fisiología de microorganismos.

Tipos de sistemas enriquecidos

En la actualidad dos sistemas de cultivos enriquecidos son usados: el medio enriquecido más comúnmente usado es el sistema cerrado, en el cual el inóculo se agrega al medio de crecimiento líquido o sólido al cual se ajustan las condiciones físico-químicas, de tal forma que se ve favorecido el microorganismo deseado. Por lo tanto la bacteria forma la población dominante bajo estas condiciones, favoreciendo su aislamiento. La mayor ventaja de este sistema cerrado es que requiere equipo simple: botellas o matraces y pocos reactivos económicos. Un microorganismo que se desarrolla en un sistema enriquecido, claramente depende de la composición química del medio usado, así como de otras características tales como temperatura, capacidad redox, pH, presencia de inhibidores, luz, fase gaseosa y otros. Aparentemente, por lo tanto, para enriquecer un medio de acuerdo a alguna bacteria es necesario conocer su fisiología, lo cual paradójicamente sólo es posible cuando se posee estudios del organismo en cultivos puros (Herbert, 1982; Parkinson y Coleman, 1991).

Las desventajas de estos sistemas son: que los sistemas cerrados tradicionalmente tienen un nivel de nutrientes inicial muy alto para promover el crecimiento de la bacteria de interés, sin embargo, como proceso de crecimiento hay un cambio en el medio y los niveles originales de nutrientes se modifican provocando una acumulación de subproductos. Ya que los cambios químicos se deben a las actividades metabólicas del inóculo, la composición química del medio no puede ser controlada, por lo tanto es importante no perder la etapa en la que el microorganismo de interés se vuelve dominante. Sin embargo, la complejidad de los cambios que ocurren durante el crecimiento en sistemas cerrados, son tales que es muy difícil predecir que especie se volverá dominante y cuando (Herbert, 1982).

Otra desventaja de estos sistemas, es que los niveles de nutrientes en sistemas cerrados son innecesariamente altos en comparación con los sistemas naturales los cuales son usualmente pobres.

En un intento de resolver estas desventajas del sistema cerrado, Jannasch (1965) ideó el uso de sistemas de cultivo continuo. En estos sistemas abiertos, tales como fermentadores, la extinción de los nutrientes y la acumulación de compuestos de desecho no son problema, ya que medio fresco es añadido continuamente y los productos de desecho removidos. De acuerdo con Jannasch (1965) las ventajas de este sistema continuo son:

- i) no ocurre una sucesión de especies, por lo que la predominancia de una especie se incrementa con el tiempo.

- i) el crecimiento ventajoso de un microorganismos no depende de la especificidad del substrato sino de los parámetros individuales de crecimiento del microorganismo en las condiciones de cultivo provistas, si estas son conocidas y estables, entonces el enriquecimiento es reproducible.
- iii) el enriquecimiento puede llevarse a cabo en presencia de concentraciones extremadamente bajas de un nutriente limitante de crecimiento, por lo tanto, se pueden obtener poblaciones de microorganismos que crezcan mejor en condiciones de baja concentración de nutrientes.

Manipulación de las condiciones ambientales y agentes selectivos usados en medios enriquecidos

Temperatura.

La temperatura claramente afecta a los microorganismos en los sistemas enriquecidos así como lo hace en su ambiente natural. Los organismos psicrófilos requieren de una temperatura baja de incubación en los sistemas enriquecidos, mientras que organismos mesófilos crecen mejor a temperaturas entre 20 y 33° C. Los organismos termófilos pueden ser rápidamente aislados a temperaturas altas de 55 a 65° C. Por ejemplo si *Bacillus stearothermophilus* se encuentra presente en una muestra puede ser rápidamente aislado de otros componentes de la microflora, incubando la muestra a 65° C (Herbert, 1982; Lynch y Hobie, 1988).

pH.

El crecimiento y reproducción de los microorganismos se encuentra grandemente influenciado por el pH del medio de crecimiento. La mayoría de las bacterias pueden crecer únicamente dentro de un rango de pH de 4.0 a 9.0 con un crecimiento óptimo entre pH 6.5 y 8.5. Muy pocas bacterias pueden crecer a pH 3.0 o más bajo como son las bacterias acidófilas (Tiobacilos y Lactobacilos). Usando un medio selectivo con una baja capacidad de amortiguación, la producción ácida permite el enriquecimiento de bacteria acidófilas a expensas de la mayoría de la microflora del inóculo inicial. Por lo tanto, cuando se desea un medio enriquecido para aislar bacterias sensitivas al cambio de pH, frecuentemente se usan buffers en el medio (Herbert, 1982, Baath *et al.*, 1992; Killham, 1994).

Para minimizar este cambio de pH en sistemas cerrados, la concentración del o los compuesto(s) responsables del cambio de pH se deben reducir al mínimo.

Otra alternativa frecuentemente usada es transferir el medio desarrollados a un medio fresco para asegurar que no ocurra un cambio excesivo de pH (Herbert, 1982).

Luz.

La selección de microorganismos fototróficos no depende solamente de las longitudes de ondas de la luz sino de los niveles de irradiación usados. Las bacterias sulfurosas verdes y azules son fototróficas, por lo que pueden ser enriquecidas selectivamente en un medio mineral en la presencia de H₂S, condiciones anaeróbicas y luz. Las bacterias azules no sulfurosas pueden ser aisladas de manera similar, cambiando el H₂S por un donador de electrones apropiado. Usando filtros se puede excluir una longitud de onda de luz particular.(v.g. filtros infrarrojos transmiten longitudes de ondas mayores de 800 nm, bacterias azules sulfurosas se pueden seleccionar en estas condiciones). La irradiación de luz aplicada también afecta significativamente el enriquecimiento y el aislamiento subsecuente de bacterias fototróficas (Herbert, 1982).

Condiciones aeróbicas o anaeróbicas.

En sistemas cerrados la aerobiosis se obtiene en volúmenes aplanados de medio como en matraces o cajas de Petri. Sin embargo, aún en estas condiciones la tensión de oxígeno es alta solamente en la superficie del medio y el crecimiento desarrollado provoca que esta tensión disminuya incluso en la superficie. Si se requiere tensiones altas de oxígeno, éstas pueden ser alcanzadas ya sea por la agitación del medio o bien por la aireación con aire estéril. Sin embargo aún en aerobios estrictos la tensión de oxígeno es importante y el aumento de ésta puede provocar una disminución del crecimiento por lo que en muchos casos el enriquecimiento es más exitoso en cultivos estacionarios, donde el oxígeno es limitado que en condiciones con un exceso de oxígeno (Lynch, 1983; Lynch y Hobie, 1988; Killham, 1994; Phelps *et al.*, 1994).

La incubación de medios enriquecidos en ausencia de oxígeno, permite el desarrollo de bacterias quimio-organotróficas facultativas u obligadas y si la luz está presente de fotoautótrofos. Términos como micro-aerófilicos, anaerobios no exactos y estrictamente anaerobios deben ser evitados ya que son imprecisos. Una mejor descripción para expresar anaerobiosis es en los términos de potencial de oxidación-reducción (Eh) el cual puede ser medido de manera precisa (Herbert, 1982; Paul y Clark, 1989; Phelps *et al.*, 1994).

Diversos métodos para el crecimiento de anaerobios se encuentran disponibles: Jarras anaeróbicas, tubos rodantes, agar agitado, y tubos de Pankhurst. Sin embargo la forma más simple de un medio de enriquecimiento anaerobio es usar una botella con tapa rosca preferentemente con un radio más alto de líquido que de gas para minimizar el ingreso de oxígeno (Herbert, 1982).

Elementos traza y cofactores.

En condiciones normales hay suficientes elementos traza presente en los reactivos usados para preparar el medio de enriquecimiento. Sin embargo para evitar cualquier deficiencia en algún elemento traza, éstos son incluidos en el medio. Una importante característica de éstos elementos es que no solamente deben estar presentes sino disponibles. Un problema frecuente cuando se incorporan éstos es que coprecipitan cuando se esteriliza el medio en autoclave, para evitar esto, los elementos traza deben ser esterilizados por filtración y añadidos asépticamente cuando el medio se encuentra frío (Herbert, 1982).

Además de elementos traza, algunas bacterias requieren de factores de crecimiento. Por ejemplo: algunas bacterias sulfurosas azules o verdes requieren de vitamina B12, mientras que algunas bacterias azules no sulfurosas (*Rhodospseudomonas sphaeroides*) requieren tiamina, biotina y ácido nicotínico para crecer.

Los factores de crecimiento requeridos pueden ser satisfactoriamente añadidos en cantidades pequeñas de extracto de levadura, el cual contiene un amplio rango de aminoácidos y vitaminas del grupo B, aunque la vitamina B12 no está presente en extracto de levadura y debe de añadirse de manera adicional.

Inhibidores.

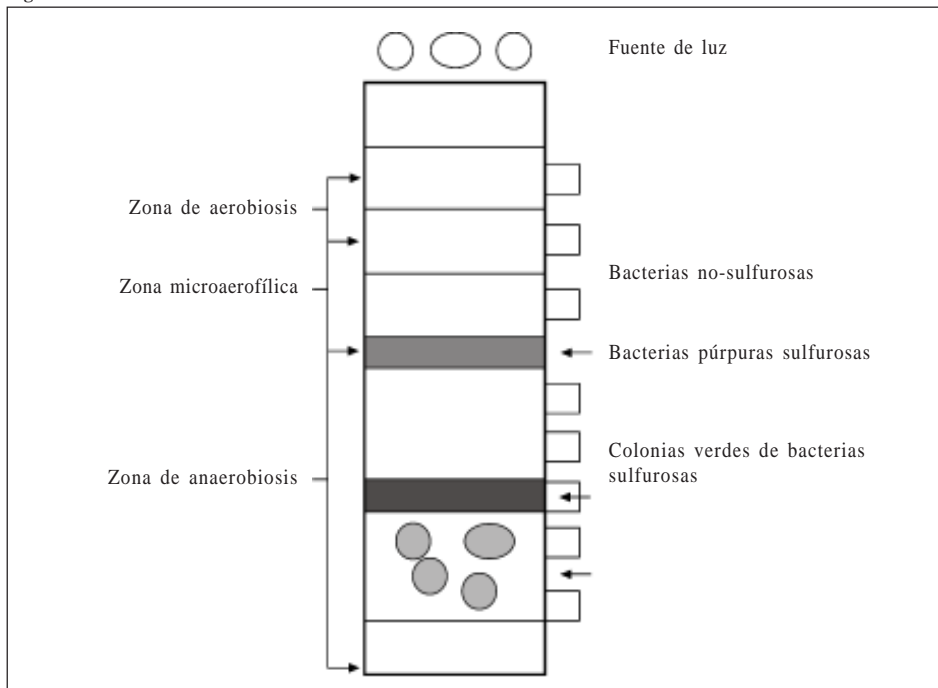
La adicción de compuestos inhibidores en los medios de enriquecimiento, suprime el desarrollo de la mayoría de la microflora no deseada en medio característicos. Un buen ejemplo de esto es la aplicación de 0.5% (w/v) de sales biliares para inhibir bacterias no intestinales permitiendo el crecimiento de *E. coli*. El empleo de antibióticos es asimismo un método muy usado para la selección (Herbert, 1982).

Métodos de aislamiento

Microcosmos:

- a) Columna de Winogradsky. La columna de Winogradsky provee de una extremadamente sencilla pero efectiva vía para simular ambientes sedimentarios naturales en el laboratorio y provee la presión selectiva necesaria para enriquecer un microorganismo específico a partir de una microflora inicial diversa. En esta columna plástica o de cristal un gradiente de nutrientes y productos finales del metabolismo es desarrollado como resultado del metabolismo fermentativo de los sedimentos y se forma un gradiente de oxígeno hacia la superficie de la columna. Estos gradientes permiten que tipos individuales de bacterias, si se encuentran en la columna, se desarrollen en puntos específicos de la misma en condiciones óptimas. (Figura 1)

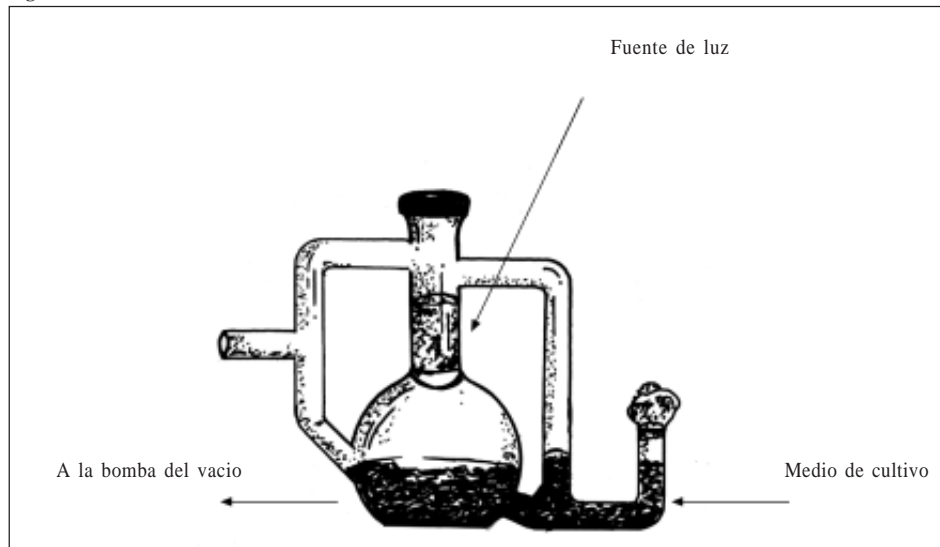
Figura 1



Columna de Winogradsky (Redibujada y modificada de Hebert, 1982).

- b) Método de enriquecimiento de suelo. Lees y Quastel (1946) desarrollaron el uso del aparato para enriquecer bacterias a partir de muestras de suelos, utilizando este sistema. Después de colocar la muestra de suelo o de sedimento en la cámara principal del aparato, el medio de enriquecimiento es recirculado a través de la columna de suelo gracias a la presión al vacío ejercida desde el exterior. Incorporando el substrato deseado, con o sin inhibidores, en el medio de percolación las bacterias de interés pueden ser enriquecidas de manera exitosa. Este método posee una ventaja añadida, ya que el medio de percolación puede ser circulado usando un gas inerte: nitrógeno puro o argón, con la finalidad de aislar anaeróbicos. (Figura 2)

Figura 2



Aparato empleado para el enriquecimiento del suelo (redibujado y modificado de Hebert; 1982)

Modelos del sistema

Sistema de fermentadores enriquecidos.

Las ventajas de los fermentadores enriquecidos ya han sido mencionadas. Un considerable número y diseño de fermentadores se encuentran disponibles. Sin embargo, de manera general, mientras más simple sea el diseño más manejable es el fermentador. Las desventajas de este sistema son: que no estima la abundancia de una bacteria en particular en un hábitat dado o si se encuentra fisiológicamente

activa en ese ambiente. Este sistema permite únicamente aislar a las bacterias que se adaptan mejor a las condiciones de crecimiento establecidas y por lo tanto pueden aumentar su población por sobre sus depredadores o competidores. Por lo tanto el papel jugado por una bacteria en su ambiente natural, aislada por este método, debe ser considerado con gran precaución.

Medios para aislar y cultivar bacterias

Una gran cantidad de medios para crecer bacterias se han descrito en la literatura, a continuación se mencionan los más frecuentes, de acuerdo con el tipo de organismo y tipo de estudio.

Identificación de bacterias

El proceso de identificación se conoce como la ubicación de una bacteria desconocida, con base a su similaridad, en un grupo taxonómico previamente descrito. Los microbiólogos necesitan identificar, en alguna de las etapas de su investigación, la bacteria con la cual se encuentran trabajando. Antes de que una bacteria pueda ser identificada es necesario que esta se encuentre creciendo en un cultivo puro, y debe de ser probada en un medio no selectivo. Otro de los requisitos es que las condiciones en las que se realice la identificación sean bien definidas, de otra manera ésta resulta sin significado alguno.

Las bacterias son inicialmente identificadas con base a sus características morfológicas y a sus reacciones bioquímicas. En adición algunos grupos de bacterias pueden ser identificadas con pruebas serológicas y/o de susceptibilidad a bacteriófagos. Métodos más sofisticados tales como: determinación de los rangos de bases de ADN, gel electroforesis de proteínas celulares, análisis de la pared celular, cromatografía de gases e hibridación de ADN, se encuentran disponibles (Pickup y Saunders, 1990; O'Donnell y Hopkins, 1993; Prosser, 1994; van Elsas y Smalla, 1997), sin embargo no son empleadas de manera rutinaria.

Debido a la gran diversidad de bacterias la practica normal es realizar una serie preliminar de pruebas las cuales puedan dirigirnos hacia un grupo bacteriano apropiado. Las pruebas básicas determinan si las bacterias son fototróficas, quimiotótrofas, heterótrofas o bien utilizan carbohidratos por oxidación o fermentación. Estas características juntas con otras, tales como: forma y tamaño de la célula, reacciones de Gram, morbilidad, requerimiento de oxígeno, producción de endosporas, reacciones de oxidasas y catalasas, formación de cápsulas y pre-

sencia o ausencia de cuerpos de inclusión, pueden indicarnos un esquema adecuado de identificación (Hebert, 1982; Lynch, 1983; Richards, 1987).

Claves para la identificación de grupos específicos de bacterias se encuentran en la literatura descriptiva y de taxonomía de bacterias, por lo que la mención de las claves se excluye de este capítulo y se remite a los interesados a las claves reconocidas.

Sin embargo, independientemente de lo sofisticado de los métodos empleados para la identificación y de los resultados que estos arrojen, la interpretación inteligente de los datos nos proporciona información muy valiosa para el adecuado análisis de los procesos bacterianos que se presentan en los suelos.

Aislamiento, cultivo e identificación de hongos del suelo

Debido a que los hongos son organismos heterótrofos, su forma de vida es ya sea saprófita o parásita, así como simbióticos. Por lo tanto juegan un papel importante en ecosistemas terrestres como descomponedores de materia orgánica (con especial interés en el ciclo de nutrientes).

Las características ecológicas importantes de los hongos terrestres pueden ser resumidas según Harley (1971) como sigue:

- i) Su habilidad para alterar su ambiente vía la producción de enzimas extracelulares y la excreción de productos finales de su metabolismo (v.g. nutrimentos, inhibidores y antibióticos).
- ii) Su gran superficie de área más la estructura hifal, las cuales les permite un crecimiento expandido y los capacita para la penetración de substratos, tales como hojarasca y madera.
- iii) La habilidad de los hongos septados de formar fusiones hifales que les permiten producir redes de hifas y su heterocariósis (con mayor posibilidad para incrementar la variabilidad genética).
- iv) La habilidad de acumular nutrimentos en su talo.
- v) El hecho de que actúan como fuente de nutrimentos para otros organismos, ya sea indirectamente por la producción de productos metabólicos solubles o directamente cuando la hifa es comida por microartrópodos.

Consideraciones preliminares que deben tomarse en cuenta al momento de intentar el aislamiento de hongos en ambientes terrestres (Parkinson, 1982; Paul y Clark, 1989; Killham, 1994):

- 1) Una gran cantidad de especies de hongos pueden ser aisladas del suelo los cuales representan la mayoría de los grupos de hongos. El patrón de distribución de los hongos se ve afectado por la calidad de la materia orgánica que entra al suelo (naturaleza y calidad de la vegetación) y las condiciones ambientales de humedad disponible y temperatura.
- 2) Los hongos del suelo no están uniformemente distribuidos pero están asociados con microhábitats, tales como materia orgánica en descomposición y raíces vivas.
- 3) La mayoría de los hongos del suelo pueden existir en una gran variedad de formas morfológicas (y estados fisiológicos), tales como esporas, otras estructuras de resistencia e hifas. Las hifas fúngicas pueden ser estructuras temporales que empleen carbohidratos simples solubles o bien hifas permanentes que utilizan carbohidratos complejos insolubles.
- 4) Los métodos disponibles para el aislamiento de hongos del suelo son selectivos, por lo tanto, las listas de especies obtenidas en estudios de la calidad de la microflora son incompletas. Sin embargo, tales estudios son valiosos por su interés ecológico intrínseco, y porque las interacciones entre especies de hongos y sus patrones de distribución pueden ser factores importantes para determinar la velocidad y los patrones de descomposición de la materia orgánica. También puede ser posible deducir de tales listas de especies y datos sobre las propiedades fisiológicas de las especies individuales, información concerniente a las actividades fúngicas en el suelo.

Estudios ginecológicos

El objetivo es conocer el número total de especies en una comunidad fúngica. Ya que los métodos disponibles para el aislamiento de los hongos del suelo son selectivos, entonces la dificultad mayor para conocer el papel ecológico de tales hongos es determinar que especies se encuentran en un ambiente particular junto con su estado de actividad vegetativa. Debe enfatizarse que, en investigaciones ecológicas los métodos deben de ser elegidos para contestar preguntas específicas y deben probarse antes de su uso regular (Parkinson, 1982, Lynch, 1983).

Elección del medio de cultivo.

Los estudios cualitativos de hongos del suelo requieren la siembra de muestras de suelo, materia orgánica o hifas y esporas en un medio de agar con nutrientes. Por

lo que la elección de un medio apropiado de selección es de gran importancia. La idea de que un agar enriquecido con nutrientes puede permitir el aislamiento de un gran número de especies fúngicas a partir del sustrato en estudio, surgió de la idea de desarrollar un medio de selección de amplio espectro (Lynch, 1983).

En algunos estudios, agar-agua puede ser usado para el aislamiento primario de un hongo a partir de algún sustrato en un intento de eliminar la selectividad de un medio enriquecido. Los aislamientos obtenidos deben de ser traspasados a un medio enriquecido tan pronto como los hongos se observen en primer aislamiento.

Una de las primeras preguntas que se deben hacer antes de un aislamiento masivo de hongos del suelo es ¿Qué medio enriquecido deberá ser usado?. En tales estudios es deseable usar diversos medios selectivos, pero los inconvenientes de tiempo rara vez permiten hacer esto. La elección de un medio de aislamiento para usar en estudios de un suelo en particular o un grupo de sustratos debe de seguir pruebas comparativas preliminares usando un rango de medios. Si la investigación se restringe al estudio de un grupo fisiológicamente individual de hongos del suelo, tales como celulolíticos o lignolíticos, entonces el uso de un medio selectivo es necesario (Parkinson, 1982; Lynch, 1983).

Cuando el aislamiento de hongos se realiza de suelos que contengan un alto número de bacterias, frecuentemente es necesario reducir la competencia bacteriana añadiendo sustancias antibacteriales al medio, o bien ajustar el pH del medio a un valor ácido (5.0) puede ser efectivo, otros compuestos que pueden restringir el desarrollo bacteriano son cristal violeta, rosa de bengala o propianato de sodio. Actualmente el uso de antibióticos (auereomicina o estreptomycin 30 mg/l) en un medio de aislamiento es el método más frecuentemente usado para restringir el crecimiento bacteriano. Es importante probar antes estos compuestos para evitar que tengan un efecto en el crecimiento de hongos (Parkinson, 1982).

Enumeración.

El método de diluciones fue, hasta recientemente, usado predominantemente para estudiar la naturaleza de comunidades fúngicas del suelo y consiste de los siguientes pasos:

- a) Preparar una suspensión inicial del suelo
- b) Preparación de una serie de diluciones de la suspensión inicial
- c) Siembra de la serie de diluciones apropiadas en un medio enriquecido apropiado.

Si se emplea este método, otras consideraciones deben tomarse en cuenta, tales como: la característica de la suspensión inicial de suelo (peso, volumen, y tipo de fluido suspendido), el tipo y tiempo de agitación para producir la suspensión inicial, el tipo de diluyente a usar en la serie de diluciones, el medio enriquecido y la técnica de siembra empleada (superficial o en el fondo) (Parkinson, 1982).

Sin embargo, esta técnica no es apropiada para hongos que no produzcan esporas o que no se encuentren en ese estado fisiológico en el suelo al momento de tomar la muestra, por lo que puede ser valiosa para conocer el contenido de esporas en el suelo, aunque es imposible ganar información acerca de las actividades fúngicas en el microhábitat del cual fue aislado (Lynch, 1983; Killham, 1994).

Una variante de la técnica de las diluciones es la desarrollada por Warcup (1950), en la cual se emplean agujas de disección estériles para tomar muestras pequeñas (5-15 mg de suelo), las cuales se colocan en cajas de Petri estériles a la cual se le añade una gota de agua estéril para disolver y dispersar el suelo, en el fondo de la caja. Posteriormente un volumen conocido de medio nutritivo tibio (10 ml, 45°C) se aplica a cada caja, luego la caja se rueda hasta distribuir todo el suelo diluido en el agar y posteriormente se incuban.

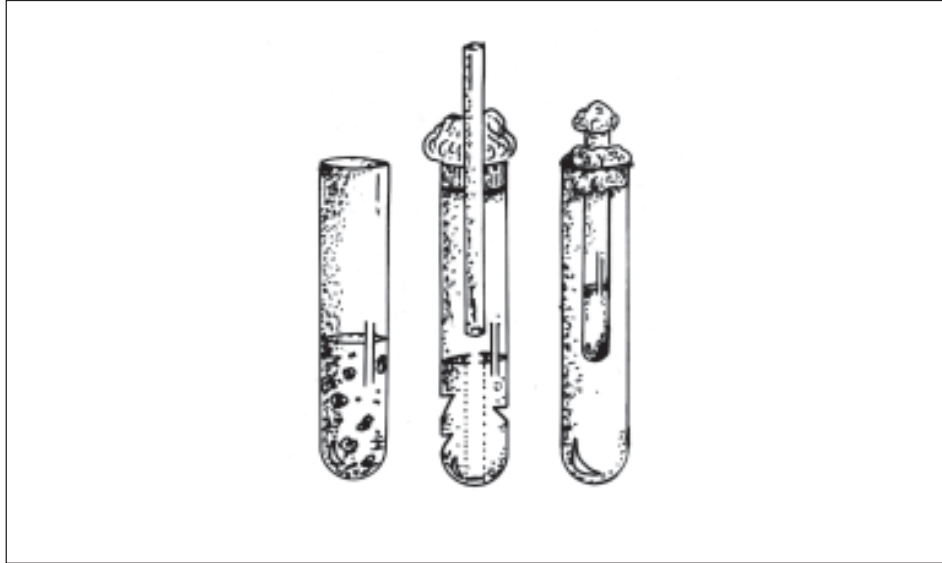
Los hongos desarrollados en las cajas se aíslan en cultivos puros para su posterior identificación, esta técnica presenta el mismo inconveniente de las diluciones, ya que los hongos aislados son sólo aquellos que se encuentran en condiciones de esporas.

Aislamiento.

Varios métodos de inmersión han sido desarrollados en un esfuerzo de aislar del suelo hongos que se encuentran sólo en su forma hifal. De la técnica original propuesta por Chesters (1940), se han desarrollado y modificado varias otras, sin embargo todas funcionan bajo el mismo principio: el medio de aislamiento es colocado en el suelo de tal forma que es separado del suelo por una trampa de aire. Este medio se deja en el suelo por un período de 5 a 7 días, después del cual es llevado al laboratorio donde pequeñas muestras son sembradas en cajas. Los hongos son entonces aislados y purificados, y se asume que estos hongos se encontraban en su forma activa de hifa ya que debieron colonizar el medio atravesando la separación de la trampa de aire (Figura 3).

Un método simple de inmersión es el descrito por Mueller y Durrell (1957), en este método tubos de plástico esterilizables para centrifuga son usados. Agujeros de 5 mm de diámetro son realizados en las paredes del tubo a diferentes posiciones, los tubos son cubiertos con cinta plástica esterilizable, y llenados con

Figura 3



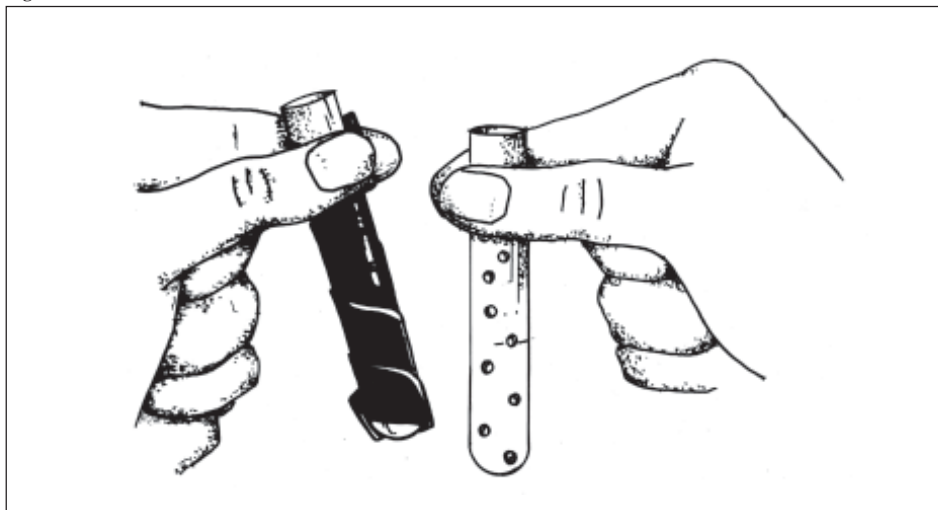
Tubos de inmersión de Chester (redibujado y modificado de Dhingra y Sinclair, 1995).

medio de cultivo dejando una distancia de 4 cm entre el medio y el borde del tubo, luego son sellados y esterilizados.

En el campo la cinta plástica es agujereada usando agujas estériles y el tubo es colocado en el suelo. Después de un tiempo predeterminado, los tubos son recuperados y llevados al laboratorio, donde los hongos son aislados removiendo el agar y sembrándolo en cajas con medio enriquecido (Figura 4). Sin embargo, estos métodos de inmersión tienen desventajas: ya que la colocación de aparatos de inmersión en el suelo (tubos, cajas, etc.) parece inducir la germinación de esporas cercanas al aparato introducido, por lo tanto el hongo aislado quizá se encontraba en su forma inactiva de espora en el suelo. Otra desventaja, es que pequeños animales quizá puedan introducirse al medio de aislamiento, llevando con ellos propágulos fúngicos.

Otro método de aislamiento fue propuesto por Harley y Waid (1955), en el cual se mostró la eficiencia del lavado de raíces, como una buena medida para remover los propágulos y permitir el aislamiento de los hongos en su forma hifal. Como resultado de este primer trabajo, un gran número de técnicas han sido desarrolladas para estudiar los hongos terrestres. Estos métodos van desde el simple lavado y decantado (Watson, 1960) hasta el uso de máquinas automáticas las cuales permiten trabajar con varias muestras de suelos en un sólo tiempo (Bissett y Widden, 1972).

Figura 4



Tubos de inmersión modificados. (A) se muestra el tubo sin la cinta con los agujeros realizados, en (B) se retira la cinta antes de colocar el tubo en el suelo (redibujado y modificado de Dhingra y Sinclair, 1995).

Los métodos de lavado de suelo, tienen la ventaja de ser de simple ejecución y cuando se utilizan las máquinas múltiples, permiten manejar numerosas muestras en tiempos cortos. Aunque es muy poco probable que el lavado remueva todas las esporas de las muestras de suelos, es altamente probable que los hongos aislados en las cajas a partir de partículas de suelo lavado sea a partir de las hifas que de esporas.

Una serie de lavados, seguido por la siembra en cajas de piezas pequeñas de material lavado ha probado ser un método valioso para estudiar las asociaciones fúngicas en la materia orgánica del suelo. Muchos de los datos de sucesión de hongos descomponedores de desechos vegetales y de hongos asociados con superficies radiculares han sido obtenidos usando este método (Hayes, 1979).

Identificación.

Siguiendo al aislamiento primario de los hongos, las colonias individuales formadas deben de ser cultivadas de manera aislada y pura tan pronto como sea posible, también se recomienda observar las cajas de aislamiento bajo microscopio de disección, con el fin de asegurarse que especies que crezcan sobre otras colonias o bien especies de crecimiento lento sean aisladas. La siembra inicial para purificar

el hongo, se recomienda que sea en cajas de Petri en lugar de tubos inclinados. Una gran cantidad de medios de cultivo son usados para el mantenimiento de hongos del suelo. Muchos de estos son medios naturales complejos tales como: Extracto de malta agar, extracto de papa agar, papa dextrosa agar, papa zanahoria agar y jugo vegetal V8 agar.

Cuando se desea la identificación de un grupo específico, un medio enriquecido y condiciones de crecimiento definidos deben ser usados. Las descripciones de estas condiciones pueden ser obtenidas a partir de las monografías taxonómicas usadas para la identificación de los aislamientos.

Estudios autoecológicos

Muchos de los estudios autoecológicos de hongos del suelo se han enfocado en hongos patógenos, donde los datos de ocurrencia, potencial de inóculo y habilidades competitivas son requeridos. Diferentes métodos selectivos para los diferentes grupos han sido desarrollados, y la descripción de los mismos se pueden encontrar en la literatura específica.

Debe mencionarse que uno de los mayores problemas en estudios cualitativos en hongos del suelo, es la infrecuencia en el aislamiento de basidiomicetos de las muestras de suelo. Esto quizá se deba a los requerimientos específicos de nutrientes de muchos de estos hongos y/o a su susceptibilidad a la competencia (al menos en las cajas de cultivo) de especies de crecimiento más rápido.

Diseño para el muestreo de microorganismos del suelo

Para decidir el método que se va a emplear en un trabajo específico, debe de hacerse con cuidado considerando la capacidad para responder a la pregunta que se ha planteado. Después de elegir el método, este debe ser cuidadosamente verificado y si es necesario modificarlo, para adecuar su eficacia al sistema y tipo de suelo particular del estudio.

Cuadro 3

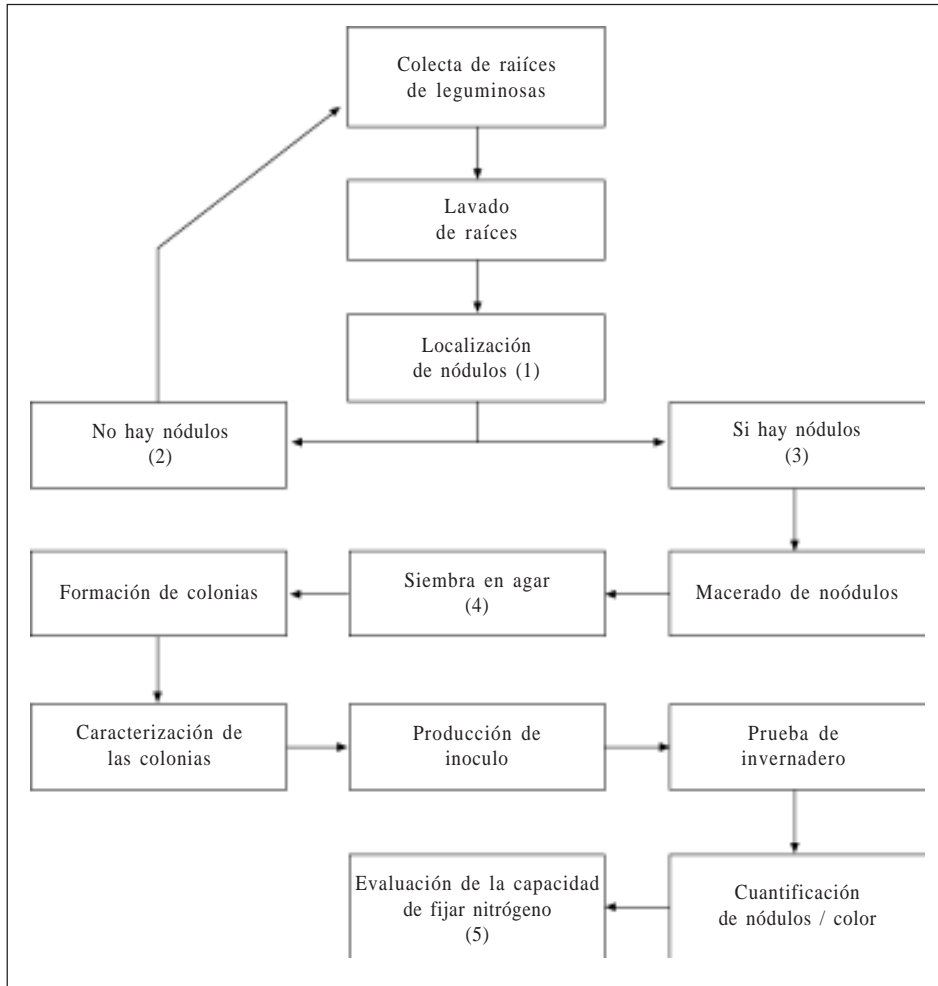
Pregunta	Procedimiento
¿Qué heterogeneidad se espera en el campo?	Inspección y caracterización de campo
¿Cómo diseñar el muestreo para alcanzar los objetivos del estudio?	Definición de los objetivos, diseño del muestreo
¿Qué tipo de muestreo se realizará?	Seleccionar el tipo de muestreo, de los diferentes que se conocen
¿Cómo se tomarán las muestras?	Definir la estrategia de acuerdo a los objetivos
¿Cuántas muestras deben tomarse?	Calcular el número de muestras necesario
¿Cómo se realizará el muestreo?	Definir las herramientas, evitar la contaminación entre las muestras
¿Cómo se transportarán, procesarán y analizarán las muestras?	Definir los métodos de análisis y procesamiento de muestras

Protocolo para el muestreo y procesamiento de microorganismos del suelo
(Modificado de van Elsas y Smalla, 1997).

A manera de guía, en el cuadro 3, se enlistan varias preguntas comunes relacionadas con el muestreo de microorganismos del suelo, así como las posibles respuestas y procedimientos a seguir.

Los procedimientos necesarios para aislar microorganismos simbióticos (*Rhizobium* y micorrizas arbusculares) y que degradan la materia orgánica, se colocan organizados a manera de diagramas de flujos con el fin de facilitar su interpretación, se debe recordar que cada uno de los pasos debe ser validado previamente para el tipo de sistema particular, con el objetivo de obtener las mayores ventajas de los métodos (Figuras 5, 6 y 7).

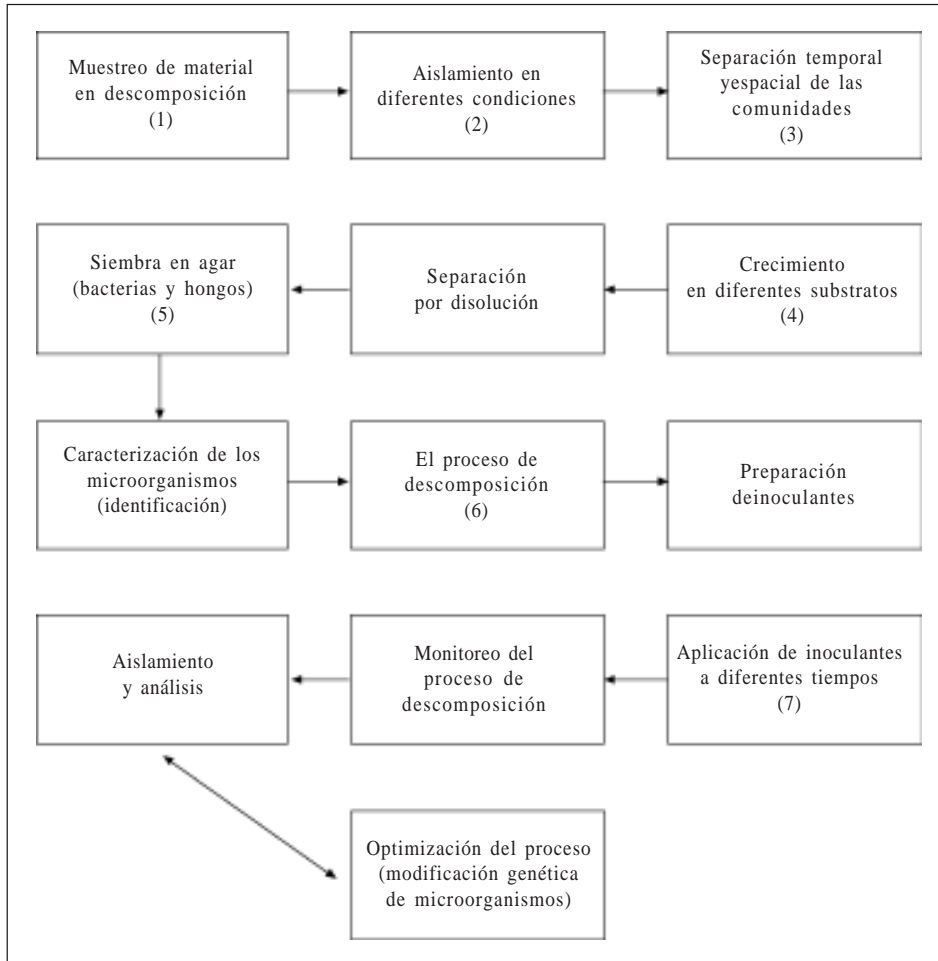
Figura 5



1) La búsqueda se realiza en las raíces secundarias. Generalmente distribuidas en los primeros 30 cm. del suelo; 2) La ausencia de nódulos en las raíces se puede deber a dos circunstancias: a) no se encuentra presente la bacteria *Rhizobium* en el ambiente analizado; b) las raíces elegidas son muy gruesas y la etapa de crecimiento de la planta impide la detección; 3) Los nódulos rosados son evidencia de actividad de fijación de nitrógeno y deben ser los elegidos para su estudio; 4) El medio empleado es el FW-79, rico en manitol; 5) Con pruebas de contenido de nitrógeno comparado con plantas control, reducción de acetileno.

Diagrama de flujo para la evaluación de un sistema de fijación biológica de nitrógeno:
Rhizobium

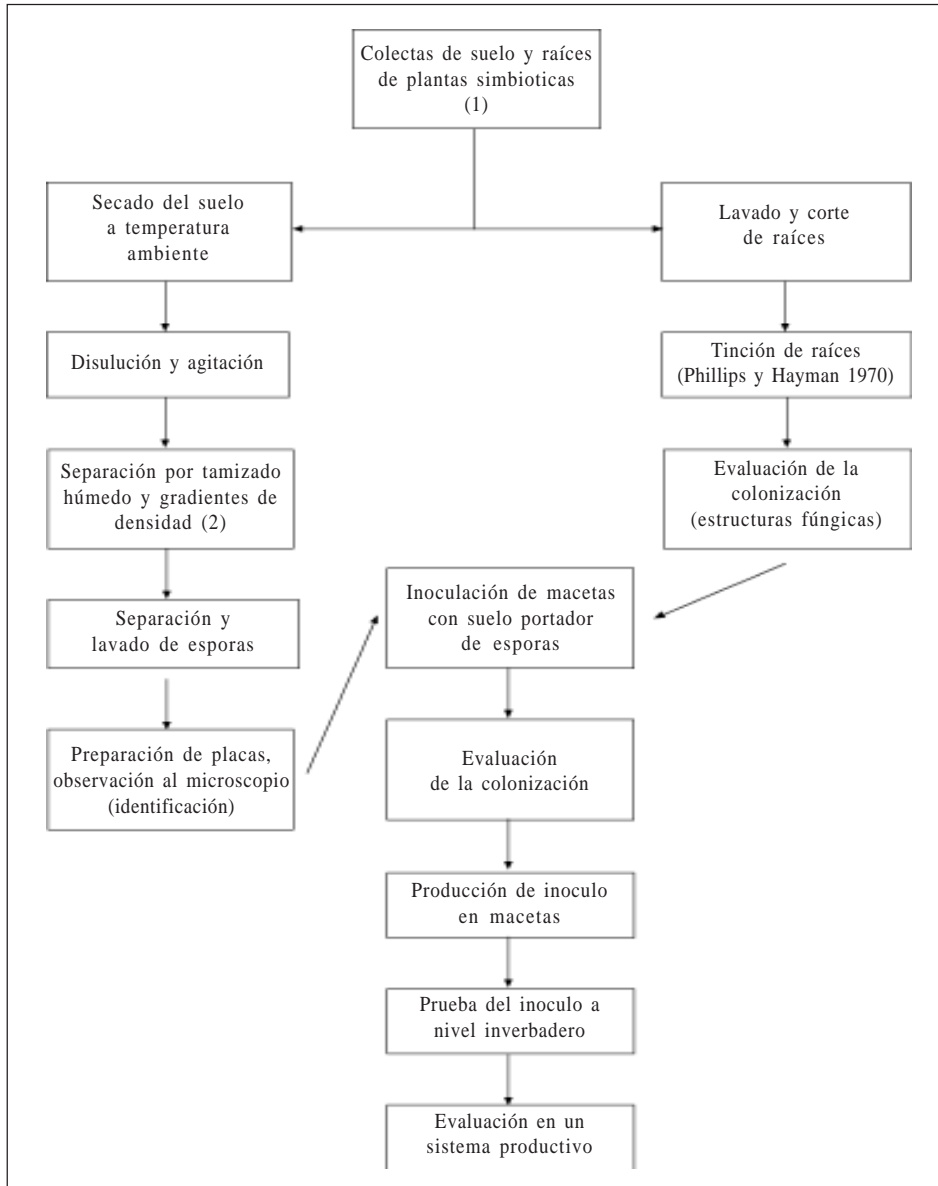
Figura 6



1) En diferentes etapas del proceso de degradación; 2) De temperatura, valores de pH, disponibilidad de oxígeno y de agua; 3) A lo largo de todo proceso, con diferentes temporales y de ubicación (diferentes profundidades relativas), para determinar el orden de aparición; 4) Importancia de su participación en el proceso, evaluando la capacidad de utilizar las diferentes fuentes de carbono; 5) Separación de los diferentes componentes microbianos, empleando antibióticos o diferentes grados de diluciones; 6) Inoculando con diferentes combinaciones de microorganismos; 7) Imitando el proceso de descomposición en sus diferentes etapas.

Diagrama de flujo para el estudio del proceso de degradación microbiana de compuestos orgánicos

Figura 7



- 1) El 90% de las plantas en sistemas tropicales, presentan este tipo de simbiosis (Allen, 1991);
 2) Con la técnica propuesta por Pacioni (1992).

Diagrama de flujo para la obtención de inóculo de hongos micorrízicos vesículo- arbusculares (MVA). Aislamiento y evaluación del grado de colonización.

Referencias

- Alexander M. 1980. *Microbiología del suelo*. AGT Editores. México.
- Allen M. 1991. *The ecology of mycorrhizae*. Cambridge Studies in Ecology. Gran Bretaña.
- Baath E., Frostegard A. y Fritze H. 1992. Soil bacterial biomass, activity, phospholipid fatty acid pattern, and pH tolerance in an area polluted with alkaline dust deposition. *Appl. Environ. Microbiol.*, 58(12): 4026-4031.
- Barber D. A. y Lynch J. M. 1976. Microbial growth in the rhizosphere. *Soil Biol. Biochem.*, 9: 305-308.
- Bisset, J. y P. Widden 1972. An automatic, multichamber soil-washing apparatus for removing fungal spores from soil. *Canadian Journal of Microbiology*, 18:1399-1409.
- Chesters C. 1940. A method for isolating soil fungi. *Transactions of the British Mycological Society*, 24:352-355.
- Dhingra O. y Sinclair J. 1995. *Basic plant pathology methods*. 2a. ed. CRC Press. EUA.
- Giller K. E. y Day J. M. 1985. Nitrogen fixation in the rhizosphere: significance in natural and agricultural systems. In: Fitter A.H., Atkinson D., Read D.J. y Usher M.B. (Eds.). *Ecological interactions in soil: plants, microbes and animals*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, Gran Bretaña.
- England L., Lee H. y Trevors J. 1993. Bacterial survival in soil: effect of clays and protozoa. *Soil Biol. Biochem.*, 25 (5): 525-531.
- Hassink J. 1994. Effect of soil texture on the size of the microbial biomass and on the amount of C and N mineralized per unit of microbial biomass in Dutch grassland soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 26(11): 1573-1581.
- Harley J. 1971. Fungi in ecosystems. *Journal of Ecology*, 59:653-668.
- Harley J. y Waid J. 1955. A method for studying active micelia on living roots and others surfaces in the soil. *Transactions of the British Mycological Society*, 38:104-118.
- Hayes A. 1979. The microbiology of plant litter decomposition. *Science Progress*, 66:25-42.
- Herbert R. 1982. Procedures for the isolation, cultivation and identification of bacteria. In: Burns, R.G. y Slater J.H. (Eds.). *Experimental microbial ecology*. Academic Press, EUA.
- Hintze T., Gehlen P. y D. Schroder. 1994. Are microbial biomass estimations equally valid with arable soils and forest soils?. *Soil Biology and Biochemistry*, 26(9):1207-1211.
- Holben W. E., Jansson J. K., Chelm B. K. y Tiedje J. M. 1988. DNA probe method for the detection of specific microorganisms in the soil bacterial community. *Appl. Environ. Microbiol.*, 54(3): 703-711.
- Killham K. 1994. *Soil ecology*. Cambridge University Press. Gran Bretaña.
- Jannasch H. W. 1965. Continuous culture in microbial ecology. *Laboratory practice*, 14:1162-1166.
- Lees M. y Quastel J. 1946. Biochemistry of nitrification in soil. 1. Kinetics of, and effects of poison on soil nitrifications as studied by soil perfusion technique. *Biochemical Journal*, 40:803-810.
- Lynch J. M. y Hobie J.E. 1988. *Microorganisms in action: concepts and applications in Microbial ecology*. Blackwell Scientific Publications, Gran Bretaña.

- Mueller K. y Durrell L. 1957. Sampling tubes for soil fungi. *Phytopathology*, 47:243.
- O'Donell A. y Hopkins D. 1993. Extraction, detection and identification of genetically engineered microorganisms from soils. In: Edwards C. (Ed.). *Monitoring genetically manipulated microorganisms in the environment*. John Wiley and Sons Ltd. EUA.
- Parkinson D. 1982. Procedures for the isolation, cultivation and identification of fungi. In: Burns, R.G. y Slater J.H. (Eds.). *Experimental microbial ecology*. Academic Press, EUA.
- Parkinson D. y Coleman D. 1991. Microbial communities, activity and biomass. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 34:3-33.
- Paul EA. y Clark F. E. 1989. *Soil microbiology and biochemistry*. Academic Press. EUA.
- Pacioni G. 1992. Wet-sieving and decanting techniques for the extraction of spores of vesicular-arbuscular fungi. *Methods in microbiology*, 24:317-322.
- Phelps T. J., Pfiffner S.M., Sargent K.A. y White D. C. 1994. Factors influencing the abundance and metabolic capacities of microorganisms in Eastern coastal plain sediments. *Microbial Ecology*, 28: 351-364.
- Phillips J. y Hayman D. 1970. Improved procedure for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assesment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 55: 158-161.
- Pickup R. W. y Saunders J. R. 1990. Detection of genetically engineered traits among bacteria in the environment. *Trends in Biotechnology*, 8:329-335.
- Prosser J. I. 1994. Molecular marker systems for detection of genetically engineered microorganisms in the environment. *Microbiology*, 140: 5-17.
- Richards B. N. 1987. *The microbiology of terrestrial ecosystems*. Logman, Gran Bretaña.
- Rutherford P. y Juma N. 1992. Influence of soil texture on protozoa-induced mineralization of bacterial carbon and nitrogen. *Can. J. Soil. Sci.*, 72: 183-200.
- Sarig S., Roberson E.B. y Firestone M. 1993. Microbial activity-soil structure: response to saline water irrigation. *Soil Biol. Biochem.*, 25(6):693-697.
- Schloesing T. y Müntz A. 1877. Sur la nitrification per le ferments organisén. Comptes rendus. *Academie science*, 80:30-39.
- Sinsabaugh R., Antibus R. y Linkins A. 1991. An enzymatic approach to the analysis of microbial activity during planta decomposition. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 34:43-54.
- Subba Rao N. S. 1982. *Advances in agricultural microbiology*. Butterworth Scientific Publications. Gran Bretaña.
- van Elsas J. y Smalla K. 1997. Methods for sampling soil microbes. In: Hurst C. J., Knudsen G. R., McInerney M. J., Stetzenbach L. D. y Walter M. V. (Eds.). *Manual for environmental microbiology*. American Society of Microbiology. EUA.
- Warcup J. H. 1950. The soil plate method fro isolations of fungi from soil. *Nature*, 166:117.
- Watson R. D. 1960. Soil washing improves the value of the soil dilution and plate count method for estimating population of soil fungi. *Phytopathology*, 50:792-794

7

MOLUSCOS

Edna Naranjo García y Catalina Gómez Espinosa*

Introducción

Los moluscos son el grupo de invertebrados con el número de especies más grande y diverso, después de los artrópodos (Morton, 1967). Son organismos de cuerpo blando, no segmentados, con un pie muscular y con manto (estructura que secreta la concha calcárea). El grupo es tan diverso que los moluscos pueden presentar concha (caracoles) o carecer de ella (babosas), o reducida en diversos grados hasta consistir solamente de unos gránulos sobre el manto (babosas), puede ser externa (almejas) o interna (calamares). La mayoría de los moluscos presentan una estructura raspadora llamada rádula (con excepción de los bivalvos) empleada para alimentarse (Brown, 1991).

Los moluscos viven en ambientes marinos, dulceacuícolas o terrestres y son de vida libre, excepto por unos pocos que son parásitos. Se les encuentra desde las profundas trincheras submarinas hasta la zona de intermareas en el mar. En los lagos, algunos de ellos llegan a los 55 m de profundidad (Russell-Hunter, 1978); en la tierra se les encuentra desde el nivel del mar hasta los 4 000 m de altitud.

En este capítulo se abordarán las técnicas de colecta de moluscos, así como las técnicas de preparación y preservación de ejemplares y algunas recomendaciones para su cultivo.

Se recomienda que antes de iniciar una colecta se establezca claramente el objetivo o propósito de la misma. Ya que dependiendo del tipo de estudio que se haga (anatómico, sistemático, histólogo, genético o filogenético) así será la for-

* Departamento de Zoología, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Apartado Postal 70-153, México, D.F. 04510. México.

ma como se preparará el material, con lo que se evitará desperdicio de organismos y de esfuerzo. Por ejemplo: se debe tener especial cuidado en obtener ejemplares adultos, completamente desarrollados para estudios de sistemática o ejemplares de diversos estadios para estudios de ontogenia. La preparación especial de los especímenes debe ser considerada de acuerdo con los lineamientos establecidos por la American Malacological Union (1974).

Colecta

La fotografía de los organismos vivos en su medio ambiente, es muy importante en su identificación taxonómica (por ejemplo es primordial en el estudio de nudibrancios y de babosas terrestres - Hans Berth, com. pers.; Castillejo, 1998), la mayoría de los moluscos pierden su colorido al ser fijados. La toma de fotografías de los moluscos será una herramienta útil cuando se avance en el estudio que se este realizando.

Terrestres.

A los moluscos terrestres se les encuentra casi en cualquier parte, mientras exista algún tipo de abrigo donde puedan refugiarse (Clench, 1974). Estos organismos tienen hábitos nocturnos y entran en actividad cuando se dan las condiciones favorables de temperatura y humedad. Durante el día, se refugian entre las hendiduras de las rocas, debajo de ellas, debajo de la hojarasca o entre ella bajo troncos caídos, en troncos de arboles, bajo la corteza y en el dosel de los arboles, solo se exponen al sol cuando la humedad relativa es muy alta, de otra manera podrían desecarse (Gaviño *et al.*, 1974; Roscoe, 1974; Lincoln y Sheals, 1979), los caracoles evitan zonas que sean extremadamente secas durante alguna de las estaciones del año. En esa temporada, buscan refugio enterrados o semi - enterrados. Los caracoles son frecuentes y abundan en las áreas montañosas, las áreas donde existen rocas calizas, amplio sombreado, mucho musgo y hojarasca. También frecuentan los alrededores de arroyos o estanques (arriba del área de inundación), las zonas sombreadas de los cañones y barrancas donde haya humedad en el suelo y una buena cubierta de hojarasca (Clench, 1974; Knudsen, 1966).

En algunas regiones de México, donde las estaciones climáticas son muy marcadas (temporada de lluvia y de sequía); la colecta de moluscos vivos puede ser abrumadora, llevarse mucho tiempo y finalmente llevar a la frustración (Bequaert y Miller, 1973). Una muy buena captura se traduce en un organismo

vivo. Frecuentemente ese único ejemplar no es adulto. Si el colector posee las instalaciones adecuadas para mantener a los ejemplares vivos en condiciones de laboratorio o bioterio; se recomienda trasladar los ejemplares y mantenerlos en condiciones artificiales hasta la madurez. Si no se tienen esas condiciones, es mejor dejar al animal en su lugar.

Los moluscos terrestres se buscan entre la vegetación, en las veredas de los bosques, en los muros de las construcciones (Knudsen, 1966) y pueden colectarse de manera directa con ayuda de pinzas o manualmente con guantes de cuero. Las especies más pequeñas que viven en la hierba pueden ser colectadas con redes de golpeo y los habitantes de árboles y arbustos pueden ser colectados utilizando un lienzo o una caja de madera colocada sobre el piso directamente bajo la rama que se golpeará fuertemente con un palo (Lincoln y Sheals, 1979).

Pearce (com. pers.), para la obtención de moluscos terrestres, revisa el lugar por cinco minutos en búsqueda de organismos, después se va a otra área. Otro método empleado por Pearce (1994) es buscar con una linterna por la noche después de llover; bajo esas condiciones, los moluscos salen de sus guaridas y están activos.

Krull y Mapes (1951) emplearon la siguiente trampa con buenos resultados en pastizales abiertos: se coloca sobre el suelo un saco de yute empapado y doblado de 3 a 6 veces, se cubre con 2 o más capas de rocas, la primera capa es de piedras pequeñas, las siguientes capas se hacen con rocas planas grandes. La trampa es relativamente poco pesada para permitir la entrada de los caracoles debajo de ella, la circulación del aire y para mantenerla sombreada. El suelo se mantiene fresco y húmedo por más tiempo. Las trampas se examinan de 2 a 4 veces por semana.

Los moluscos que habitan en el musgo pueden colectarse tomando trozos de este material que crece en las áreas más húmedas, a la orilla de pantanos o en bosques mesófilos, arriba de la zona de inundación. El musgo se coloca en bolsas de papel bien cerradas y se deja secar. Posteriormente, los trozos se separan y ese material se pasa por tamices de varias aberturas de malla (de la fina a la gruesa) o se observa bajo el microscopio estereoscópico (La Rocque, 1974).

En estudios para determinar la diversidad y riqueza de especies hemos colectado de la forma siguiente: mensualmente y al azar (calculado por medio de tablas de azar para no introducir sesgo) se tira una cinta de 50 m de largo. En cada sitio se toman dos muestras (tomando 10 muestras, con una réplica, en total 20) con un cuadrado de alambre de 25 x 25 cm, una a cada lado de la cinta. Se toma toda la hojarasca, humus y tierra suelta dentro del cuadrado. La muestra se deposita en una bolsa de plástico y se le pone su etiqueta por dentro y por fuera. En el laboratorio se separa la muestra pasándola en una serie de tamices de varias aber-

turas de malla. El tamizado puede realizarse en seco (dejando secar la muestra) o por el método húmedo (“*wet-sieving*” de Williamson) (Lincoln y Sheals, 1979).

Coney *et al.* (1981) dan el siguiente método que es una variante del método de tamizado húmedo. Estos autores lo recomiendan para obtener moluscos diminutos con la máxima eficacia (*Pupillidae*, *Punctum*, *Striatura* y *Vertigo*). Se toman muestras de hojarasca del suelo o musgo, tomando también de 5 a 10 cm de suelo, lo cual asegura incluir moluscos de la interfase hojarasca/suelo. Las muestras se colocan en bolsas de plástico. En el laboratorio la muestra se coloca en un tamiz con abertura de malla de 5 mm, se separan de la tierra las conchas grandes y organismos vivos. Posteriormente, el tamiz se coloca sobre una cubeta y se lava con agua, la cual se acumula en la cubeta.

En la cubeta habrá un sobrenadante que contiene conchas y restos de plantas; el sobrenadante se coloca en un tamiz con abertura de malla del No. 60, se lava con agua, con un chorro suave para evitar salpicar o dañar los materiales. El tamizado se seca en la estufa aproximadamente a 60 °C, hasta que se ha secado completamente, *ca.* 48 horas. Cuando la muestra esta seca por completo se vacía en un vaso de precipitados que contiene Xilol (puede ser reemplazado por tolueno o benceno), se agita periódicamente y se deja asentar (cerca de una hora). Cuando los detritos dejan de caer, se recoge el material que esta flotando, se coloca en papel filtro y se deja secar a la intemperie. Posteriormente, se examina con una lupa o bajo el microscopio estereoscópico. Las conchas se recogen con un pincel o con una aguja de disección humedecida en alcohol etílico. Las conchas se almacenan dentro de viales. La otra parte de la muestra que quedó en el fondo de la cubeta se tamiza con la malla del No. 60, lavándola bien con agua. Después se coloca en una estufa a 60° C y, cuando está seca, se examina bajo el microscopio estereoscópico.

Si también se quiere estudiar la fauna que vive en la hojarasca acumulada sobre la vegetación; en el campo se tira una cinta de 50 m, se eligen 10 sitios al azar (sobre la línea) y en cada sitio se toma una muestra de toda la hojarasca que ha caído sobre la vegetación contenida en 5 m cuadrados (desde los arbustos mas bajos hasta donde el brazo alcance), nosotros usamos pinzas de panadero para evitar tocar las plantas espinosas o ponzoñosas. La muestra se coloca en una bolsa de plástico y se procesa de la misma forma que la tomada sobre el suelo.

El mismo método del transecto de 50 metros, con 10 sitios calculados al azar, se utiliza para estudiar a los organismos enterrados en el suelo. Con un *nucleador* (cilindro de aproximadamente 10 cm de diámetro y 15 de profundidad) se toman 20 muestras, dos a cada lado de la cinta métrica. Las muestras se colocan en bolsas de plástico y en el laboratorio se tamizan, para separar de la tierra las conchas y organismos vivos.

Para complementar la colecta de caracoles, también pueden utilizarse atraentes químicos durante la noche. Algunos de los cebos más efectivos contienen metaldehído como uno de los constituyentes activos (Lincoln y Sheals, 1979). Nosotros hemos colocado pequeños vasos de plástico enterrados al ras del suelo y, como atraente, un poco de cerveza. Los moluscos son altamente atraídos por ella, se relajan dentro (posiblemente el alcohol los anestesia, siendo ya incapaces de salir del líquido) y solo es necesario fijarlos en alcohol al 70%. Otros materiales como la avena y la crema de cacahuete también los atrae fácilmente.

Después de colectados los moluscos se depositan en frascos o en bolsas de plástico con un poco de vegetación para disminuir las secreciones y para evitar que se aplasten (Thomé, 1986).

Los organismos colectados se separan en conchas vacías y vivos. Si se desea conservar a los moluscos vivos en alcohol, para futuros estudios, estos se relajan (en agua hervida fría y un poco de tabaco, se dejan en un sitio fresco por 4 a 6 horas, después se colocan en el refrigerador en la parte de abajo donde la temperatura es de 4 °C. Se mantienen en refrigeración hasta cuando ya no se contraen al tocar suavemente con una aguja de disección –la relajación de moluscos terrestres puede tomar de tres a 5 días, la de dulceacuícolas puede tomar hasta dos semanas en refrigeración– y luego se fijan en alcohol al 70%, Castillejo (com. pers.) recomienda agregar bórax al alcohol para evitar que los organismos se pongan demasiado rígidos. No especifica la cantidad, diciendo que el bórax se diluirá conforme se agregue más alcohol al recipiente.

En la actualidad por la rápida diseminación de organismos, entre ellos de parásitos como los nemátodos y por las condiciones de contaminación fecal en grandes regiones, se recomienda usar guantes de cuero cuando se colectan caracoles terrestres o tener cuidado de lavarse muy bien las manos después de la colecta.

Moluscos Acuáticos

Dulceacuícolas

Las aguas alcalinas con gran cantidad de plantas acuáticas son generalmente las más ricas para colectar especies de agua dulce (Lincoln y Sheals, 1979). Russell-Hunter (1978) piensa que las condiciones ambientales primordiales para los moluscos dulceacuícolas son tanto la dureza del agua como el estado trófico del cuerpo de agua, siendo secundarios los otros factores ambientales. Los moluscos toleran altas cantidades de calcio y un ambiente eutrófico.

Los moluscos se encuentran en todo tipo de aguas dulces, en lagos, estanques, pantanos, arroyos de corriente lenta y agua estancada (Lincoln y Sheals, 1979), en cuerpos efímeros de los meandros y de los bosques. Se les encuentra en aguas de corriente rápida (ríos, arroyos) (Baker, 1974). Se distribuyen principalmente en las orillas de los cuerpos de agua, fijos a las rocas o a plantas sumergidas, o bajo troncos sumergidos (Lincoln y Sheals, 1979).

Moluscos como la *Lymnaea*, los *planórbidos* y los *físid*os, prefieren las aguas tranquilas y habitan entre la vegetación cerca de la orilla o en las playas rocosas con mucho alimento, mientras que algunos *hidróbidos*, *pleurocéridos* y *paquiquilidos* prefieren los bordes de los ríos y arroyos. Otros moluscos viven en agua poco profunda en las rocas de caliza u otro tipo de roca que crea bordes protegidos o en los rompeolas los cuales se forman más allá de la orilla de los ríos. Los estanques de la playa y el agua atrapada por barreras pueden ser buenos sitios de colecta.

En América los moluscos se localizan entre los 7 metros de profundidad y la superficie del agua; sin embargo, la mayoría se localiza a partir de los 2 metros (límite de la vegetación enraizada). Canales a la orilla de los caminos, con muy poca agua y vegetación abundante puede tener moluscos pequeños (Baker, 1974), en este tipo de cuerpos de agua y en otros de agua estancada se encuentran especies de *Pisidium*. En bosques sombreados algunos arroyos que se secan en el verano tienen especies que se entierran en el lodo en esa época del año, algunas otras se localizan debajo de las plantas acuáticas y otras más se localizan en los bancos de arena (Ward y Whipple, 1918). Ward y Whipple (1918) hacen varias recomendaciones útiles, dicen que es mejor tener una concha vacía que no tener nada, si se encuentran ejemplares vivos no deben recogerse conchas y, si hay un gran número de ejemplares tomarlos, ya que las poblaciones cambian año con año.

Otra forma de colectar moluscos dulceacuícolas es colectando la vegetación acuática y examinándola. La draga o cucharón Walker fue ampliamente usada por su inventor Dr. Bryant Walker y por Frank Baker. Consiste de un mango de aproximadamente 1.5 m y la cuchara propiamente tiene un diámetro de 15 cm arriba, 13 cm en el fondo y una profundidad de 8 cm; el fondo está sellado con una malla de cobre. La luz de malla es lo suficientemente grande para permitir el paso del lodo y agua y retener las conchas. Con ese cucharón se barre la superficie del agua, la vegetación y los hoyos de lodo. En lugares amplios con vegetación abundante es mejor tomar y colocar la vegetación dentro de una palangana grande, la vegetación se lava y sacude dentro de ella para hacer caer a los moluscos. Los moluscos de la familia *Ancylidae* se buscan sobre los lirios acuáticos y sobre los tallos de los pastos acuáticos (ciperáceas). La colecta en un lago generalmente debe hacerse con ayuda de un bote de remos (Baker, 1974).

Appleton (1996) recomienda el uso de una red con luz de malla de 1.5 a 2.0 mm, colocada en un bastidor de acero con un diámetro de 300 mm y con un mango de aluminio de 1.4 m de largo; esa red es apropiada para coleccionar en la vegetación acuática, en el lodo y en la arena.

Los moluscos *hidróbidos* se coleccionan dejando un mechudo en el agua cerca de un mes (Coney, manuscrito no publicado, sin fecha).

Para coleccionar *Viviparidae*, cerca del borde del lago o de los ríos, se pasa la mano o el cucharón Walker a través del lodo y de la arena. Cuando los moluscos viven sobre las rocas cerca de la orilla de ríos y lagos, pueden ser coleccionados a mano (Baker, 1974). En aguas someras se pueden coleccionar las plantas acuáticas con una red de mango largo, en aguas más profundas el material puede ser coleccionado con una draga (Lincoln y Sheals, 1979; Ward y Whipple, 1918). Además, Ward y Whipple (1918) agregan que es mejor usar una draga con una abertura de 25 x 15 cm cuando se trabaja a solas y en sitios profundos y, recomiendan llevar un buen número de bolsas de plástico de tamaño medio, así como de frascos de boca ancha para mantener los ejemplares de cada sitio separados. Los ejemplares frágiles deben separarse de los más pesados, para evitar que se dañen cuando se mueven. Por la misma razón los frascos se llenan parcialmente con agua del sitio, ya que los moluscos se adhieren a las paredes y de esa forma sufren menos durante su transporte.

Los moluscos carroñeros (*Viviparidae* y *Physidae*; ocasionalmente también bivalvos) se atrapan con mucho éxito en los arroyos dejando un pescado que pese aproximadamente 500 g o estiércol seco de pollo colocado dentro de bolsas de tela, en las inmediaciones de un lugar donde se encuentren algunos de los moluscos buscados. De una semana a 10 días más tarde se busca a los moluscos en un radio de 30 cm y una profundidad de 15 cm. Las trampas hechas con estiércol de pollo deben ser hechas de tela oscura y bien amarradas por los extremos. Se ancla la trampa al fondo. Para marcar el sitio, se entierra una vara que sobresalga del agua y que, además, pase inadvertida por personas que pudieran interferir con la colecta. Esta trampa permanece efectiva por 6 semanas; se sugiere que se mueva de sitio cada 10 días o 2 semanas para lograr mejores resultados. Al remover la trampa, se tamiza el lodo presente en un radio de 40 cm. También puede probarse esta trampa en lagos transparentes con fondos arenosos (Allison, 1974).

En los pozos artesianos se coleccionan moluscos dejando un colador de luz de malla pequeño por varios días (Lyman, 1974).

Los bivalvos de tamaño mediano a grande se coleccionan buscando sobre el fondo del cuerpo de agua con los pies o con una draga (Hoeh, com. pers.). Van der Schalie (1974) sugiere coleccionar almejas cuando los arroyos están bajos; en el norte de América, sucede entre agosto y octubre y, algunas veces en mayo, posi-

blemente esto suceda en algunas regiones de nuestro país. Sin embargo, en algunas áreas existe una temporada de ciclones; entonces, la mejor época en esas áreas es hacia el final de la primavera. En las pequeñas corrientes no hay mucha diferencia. Es de importancia especial elegir la temporada cuando el agua se encuentra a su mínimo nivel para colectar en una área dada. Nosotros hemos observado en el oeste de México que el mínimo nivel en arroyos grandes es entre febrero y junio antes de la temporada de lluvia.

Las almejas habitan en corrientes y lagos; sin embargo, hay menos especies en los lagos. En general, el número de especies que habitan un lago está en relación con la influencia que ejerce la corriente sobre el lago. Así, lagos con arroyos tienen menos especies que los lagos con ríos; no obstante también la fisiografía del lugar es importante para un cuerpo de agua y de ella dependerá del número de especies presentes en el área. Las almejas son más abundantes en corrientes lentas, enterrados en la grava, arena o lodo del fondo. La acumulación de conchas en la orilla es una buena indicación de la proximidad de un bajo y donde puede haber una buena colecta.

Otro buen indicio es la acumulación de conchas dejadas por algún animal (ratas, tejones, zorrillos). Esos animales comen cualquier tipo de almeja, buscando entre los concheros se pueden encontrar especies raras. Los almejas son muy sensibles a la contaminación y al transporte brusco de sedimentos, por lo que se les localiza fácilmente en corrientes donde el fondo se ve claramente; ahí aparecen sobre el fondo un par de pequeñas aberturas, los sifones (por medio de los cuales respiran y obtienen su alimento).

En sitios sombreados, donde hay poca visibilidad, se puede emplear una bielta para ostiones. Con ella se escarba sobre el fondo, con movimientos contra la corriente, la corriente limpiará las almejas lo cual permitirá verlas fácilmente. Es recomendable llevar consigo un colador para tamizar en diferentes sitios y colectar pequeños ejemplares. También en sitios sombreados, con reflejos u oleaje se puede emplear una cubeta con fondo de vidrio.

En cuerpos de agua corriente con gran profundidad, es necesario emplear una draga manejada desde un bote. En estos lugares también se puede usar la escafandra, la que permite trabajar a 2.5 o 3 m de profundidad; este aditamento es un auxiliar para la colecta a mano. Receptáculos a emplear para el transporte de las muestras pueden ser, canastos, bolsas o sacos. Es mejor llevar consigo sacos grandes (30 kg), por si se encuentra un área muy productiva. Las bolsas o sacos deben estar bien asegurados para evitar la mezcla de unas con otras (van der Schalie, 1974).

La colecta nocturna con redes manuales o de dragado da buenos resultados. El material colectado de esta manera puede ser revisado manualmente o someti-

do a técnicas de lavado o tamizado (Lincoln y Sheals, 1979). Los ejemplares colectados se pueden depositar en recipientes con agua para ser transportados al laboratorio (Knudsen, 1966).

En estudios de demografía, Brown (1979), considerando que las poblaciones de moluscos acuáticos se localizan en parches, eligió tomar cada muestra de la siguiente forma: se pasa una red rectangular, de 15 por 80 cm con una malla de 1 mm de luz, por la vegetación acuática durante 5 minutos, se toman 5 réplicas cada vez, se llevan al laboratorio e inmediatamente se separan los moluscos y las puestas de huevos. Cada muestra se vuelve a revisar uno o dos días después en caso que se hubiera quedado algún molusco. Según Brown la técnica tiene un 90 % de eficiencia.

Para estudios de densidad de adultos, Brown (1979) colocó un cilindro de metal de 25 cm de diámetro sobre el fondo del cuerpo de agua; luego cortó toda la vegetación dentro y colectó los moluscos adultos dentro del cilindro y en el fondo, haciendo 20 réplicas para estimar la variación en el muestreo.

El siguiente método se recomienda para hacer estudios cuantitativos de los organismos que habitan la vegetación acuática flotante y los del bentos. Este consiste de dos cajones, uno más angosto que va dentro de otro más amplio. El primer cajón es rectangular, de 44.5 cm por 70.5 cm de alto, los lados están cerrados con malla de bronce. El fondo es una puerta corrediza también cubierta con malla de bronce; los dos cajones deberán tener una puerta corrediza en uno de los lados. Los cajones (uno dentro del otro) se colocan sobre la vegetación acuática y se fijan firmemente al fondo. Con tijeras de podar se corta la vegetación, cuidando de cortar al ras y para molestar lo menos posible a los organismos adheridos a ella. Cuando se termina de cortar, se empujan las puertas corredizas y se saca el cajón interno del agua. Las plantas se sacan del cajón y se colocan en una cubeta con agua, éste se enjuaga varias veces con agua corriente y los organismos contenidos en él se colocan en un recipiente junto con los que se encuentren entre la vegetación colocada en la cubeta.

El segundo cajón (externo) permanece en su lugar y los organismos bentónicos se colectan con una draga Ekman de 15 cm cuadrados. La draga se baja dentro de la cubierta exterior de la trampa, se entierra bien dentro del fondo y con la mano se confirma que la draga ha cerrado para evitar que las raíces impidan el cierre de ella. En el laboratorio las dos muestras tomadas se procesan de la siguiente forma: se agrega a la cubeta con vegetación un poco de formaldehído, de esa forma los organismos se desprenden de ella, cada planta se lava sobre los tamices no 6, 16 y 35 (de 3360 a 500 micras de abertura). Los organismos del fondo se retiran del lodo uno por uno. Después, los animales se cuentan, se separan, se relajan y se colocan en alcohol al 70% (Gerking, 1957).

Para estudios de interacción, se observa la actividad de los organismos una hora cada día (Savino y Stain –1982– hicieron sus observaciones durante dos veranos).

Los organismos se colocan en cuatro estanques de acero, con el interior pintado de blanco (que facilita la observación). El agua se aerea y se hace reciclar por medio de un filtro de arena (concentración de Oxígeno 7mg/l). Se coloca una cuerda de plástico amarilla para permitir el crecimiento de *perifiton* (Savino y Stain, 1982).

Marinos

Los gasterópodos se encuentran en todo tipo de ambiente marino y una gran cantidad de ellos habita en la zona de mareas. En bahías y estuarios donde las especies tienen hábitos nocturnos las colectas durante la noche son más productivas que durante el día (Knudsen, 1966; Gaviño *et al.*, 1974).

En playas rocosas, a lo largo del mar abierto se deben revisar las zonas de salpicadura por encima de la marea alta, donde varios moluscos se alimentan de algas microscópicas; se debe poner especial atención a los huecos donde el agua que salpica se acumula y regresa al mar. Moviéndose hacia abajo en la zona intersticial, se deben revisar las rocas, por encima, a los lados y en la parte de abajo y colocarlas después en su posición original. Se revisan los crecimientos de algas en las pozas que se descubren cuando baja la marea. Los nudibranchios generalmente se encuentran en las zonas rocosas de la costa, adheridos a las algas u otros substratos (Knudsen, 1966; Gaviño *et al.*, 1974).

Se debe revisar en las playas, donde varias especies se protegen enterrándose, dejando impresiones en la superficie de la arena al moverse hacia abajo; también en bahías y estuarios, alrededor de las plantas marinas y los depósitos de rocas. Para coleccionar en aguas más profundas, se recomienda el dragado y el buceo. Al coleccionar por buceo en zonas de sustrato duro se debe revisar directamente en grietas, cuevas y cañones, revisando la superficie de las rocas y entre las algas marinas en su totalidad (Lincoln y Sheals, 1979).

Los moluscos carnívoros pueden atraerse a trampas poniendo de cebo pedazos de jaiba, cangrejo, camarón o pescado. Las trampas deben dejarse en un mismo sitio por 24 horas y los moluscos entrarán a ellas. Como trampa, se sugiere utilizar sacos de yute con rocas entre las cuales se colocan los cebos; estas trampas se dejan en la marca de la marea baja durante la noche y se revisan al día siguiente (Knudsen, 1966; Gaviño *et al.*, 1974).

Las especies sésiles adheridas a rocas pueden ser coleccionadas con un martillo y un cincel. Los *quitones* se desprenden de las rocas con una espátula que se coloca

debajo del pie, se desliza con un movimiento firme y rápido para que no se adhieran al sustrato. Posteriormente, deben colocarse en el fondo del recipiente en el que se van a transportar para evitar que se enrosquen (Gaviño *et al.*, 1974).

Examinar el contenido estomacal de pescados también da buenos resultados, ya que muchos peces son depredadores de moluscos (Lincoln y Sheals, 1979).

Las larvas planctónicas se colectan por medio de finas redes de arrastre (Lincoln y Sheals, 1979).

Tratamiento y preservación de ejemplares

Narcotización y relajación

Antes de fijarse los moluscos deben ser anestesiados. De no ser así los organismos quedaran contraídos al ser fijados. Emberton (1989) ha comprobado que cuando los ejemplares no han sido apropiadamente relajados antes de fijarse; las estructuras internas se deforman y existen errores del 10 al 30% en las mediciones que normalmente se realizan de ciertos órganos reproductores en estudios de sistemática de moluscos terrestres y dulceacuícolas.

Terrestres. Si puede mantenerse al organismo vivo debe dejarse en ayuno durante 4 o 5 días para que se vacíe el tubo digestivo (Thomé, 1986). La recomendación de Thomé posiblemente tiene que ver con el hecho que en babosas *veronicélicas* los órganos del tracto digestivo se localizan sobre los órganos reproductores.

Los moluscos terrestres pueden ser relajados sumergiéndolos en un recipiente con agua fría hervida que no contenga oxígeno, luego el recipiente se tapa lleno al ras con agua. El organismo debe dejarse en el agua durante 24 horas o hasta que este completamente relajado (Knudsen, 1966; Gaviño *et al.*, 1974; Thomé, 1986), el proceso puede acelerarse adicionando al agua sustancias anestésicas como mentol, uretano, o una pizca de tabaco (Lincoln y Sheals, 1979). Otro método es sumergir al ejemplar en agua hirviendo sujetándolo con un palo contra el fondo del recipiente para mantenerlo extendido; sin embargo, con este procedimiento, generalmente los tentáculos quedan contraídos y el cuerpo no queda completamente extendido. Además hay una gran cantidad de secreción de moco. Otras técnicas que se han experimentado es agregar al agua aceite de clavo, cloroformo, o sumergirlos directamente en formol al 10 % o en AFA, sin embargo con estas técnicas se obtienen resultados parciales (Knudsen, 1966).

Acuáticos. Las especies acuáticas pueden ser anestesiadas con sulfato de magnesio, uretano, mentol o nembutal. En las especies de bivalvos, se han obtenido buenos resultados con fenoxetolpropileno y fenoxetol BPC. Coney (manus-

crita no publicado, sin fecha) recomienda, para estudios de anatomía, la relajación de almejas con sulfonato de metano (tricaine methane sulfonate) de 12 a 16 horas y posteriormente en 2-fenoxi etanol por 12 horas. Ya que algunas especies tienden a descomponerse en soluciones acuosas, es recomendable relajarlos poniéndolos a congelar con un poco de agua del medio de donde se colectaron. Antes de congelarlos, es preferible ponerlos un tiempo en el refrigerador y, cuando el agua este fría, pasarlos al congelador. Cuando el agua que rodea al animal ya se ha solidificado puede depositarse en formol (Lincoln y Sheals, 1979).

Otra técnica que se utiliza para la narcotización es poner a los ejemplares en un recipiente con agua de su hábitat y agregar alcohol gota a gota hasta llegar a una solución al 10%. También puede agregarse al agua en lugar de alcohol, cristales de sal epsom (sulfato de magnesio), lentamente cada 10 o 15 minutos, incrementando la cantidad cada hora. Después cuando los organismos están relajados, pueden transferirse a alcohol al 35% o formol al 5 o 10 %, para matarlos sin que haya contracción. También se ha sugerido depositar a los ejemplares en agua y calentar ésta gradualmente hasta que dejen de reaccionar cuando se les toca delicadamente con una aguja de disección; sin embargo, este método no es muy satisfactorio (Knudsen, 1966).

La técnica para *planórbidos* seguida por Paraense (1976) es como sigue: se colocan en un pequeño vaso con 100 mL de una solución de Nembutal al 0.2%, preparada con agua corriente de clorinada. Se dejan por 6 horas; cuando los caracoles están inactivos y bien extendidos, se toman con cuidado con las pinzas, con la abertura hacia arriba, se colocan en agua caliente a 70 °C por unos 45 segundos. Para desprenderlos de la concha se tira del cuerpo con suavidad y se les coloca en una solución de Railliet-Henry (Paraense, 1976).

Para organismos marinos se recomienda el agua de mar diluida con un volumen igual de solución isotónica de cloruro de magnesio. La narcosis superficial ocurre en pocos minutos. Esta misma sustancia, en solución 8 molar (M/8), se recomienda para organismos dulceacuícolas (Lincoln y Sheals, 1979).

Nudibranchios - Uno de los métodos consiste en narcotizarlos con mentol y después sumergirlos directamente en ácido acético glacial. Para los ejemplares más delicados, se recomienda el uso de alcohol y después formol, el gradual envenenamiento con formol o la técnica de congelado. Otra técnica consiste en adicionar al agua mentol y cubrir el recipiente por 12 horas y, después de este tiempo, adicionar lentamente formol, unas pocas gotas a un mismo tiempo, por un periodo de varias horas. En algunas ocasiones puede añadirse Benzocaína al agua y, después de 6 a 12 horas, cuando el ejemplar está completamente relajado, se adiciona lentamente formol gota a gota, para envenenarlo, o fijarlo directamente en formol al 5 o 10 % (Knudsen, 1966).

Pelecípodos - Los *pelecípodos* marinos mueren al ser depositados en agua dulce. También pueden narcotizarse en agua con alcohol o con mentol. Finalmente deben fijarse con alcoholes graduales hasta el 75% (Knudsen, 1966; Gaviño *et al.*, 1974).

Quitones - Se pueden anestesiar agregando al agua, donde se han depositado, varias gotas de aceite de clavo, aproximadamente media hora. También se amarran dos ejemplares pie con pie, se recomienda no sujetarlos con ligas y, se fijan en alcohol al 35% o formol al 10% (Knudsen, 1966; Gaviño, *et al.*, 1974).

Fijación

Para moluscos marinos generalmente se utiliza como medio de fijación formol neutralizado al 5 %, en tanto que para los terrestres y dulceacuícolas se utiliza alcohol al 70% (Knudsen, 1966; Gaviño *et al.*, 1974). Después de mantener a los organismos en el fijador durante 48 horas, la solución debe cambiarse para que quede limpia de moco (Thomé, 1986). Para algunos grupos de moluscos se utiliza fenoxetol propileno, para una larga conservación (Lincoln y Sheals, 1979). El fijar los *nudibranchios* en formol al 5 % es más adecuado ya que, aunque con el alcohol los tejidos se mantienen más firmes, probablemente altera el color (Lincoln y Sheals, 1979). Los organismos sacrificados en formol que vayan a ser fijados en alcohol, primero deben lavarse en agua y ponerse en alcoholes graduales hasta el de 70 % (Gaviño *et al.*, 1974). En los *pelecípodos*, para que el fijador penetre bien, se deben mantener abiertas las valvas; esto puede lograrse introduciendo un pedacito de madera entre ellas. Si los organismos se van a utilizar en técnicas histológicas deben ser fijados con AFA o con Bouin (Knudsen, 1966).

La preservación de material para estudios de filogenia requiere que los organismos estén recién muertos y que las partes que se conserven sean congeladas de inmediato. De los bivalvos se cortan las branquias. De los moluscos terrestres se conservan el pie y la glándula digestiva. Las muestras se colocan en pequeños viales con tapa de broche, se etiquetan con tinta indeleble. En el campo, se almacenan dentro de un cilindro de Nitrógeno líquido. En el laboratorio se colocan en una ultracongeladora a - 70 °C.

Conchas

Cuando sólo se quieren conservar las conchas sin los tejidos, se recomiendan varias técnicas para la extracción de éstos. Los organismos pueden ser sacrificados en

agua hirviendo, posteriormente se lavan y enfrían. Este proceso ocasiona que la masa visceral se desprenda fácilmente al darle un tirón firme; sin embargo, en los organismos en los cuales la concha está muy enrollada, es preferible desenroscarla lentamente con pinzas o con un gancho. Si han quedado residuos del cuerpo del organismo, la concha puede depositarse en un frasco con dos tercios de agua dulce que se debe mantener cerrado por varios días para que las bacterias descompongan los tejidos, posteriormente, se debe lavar con abundante agua para evitar el mal olor. En el caso de los quitones, la concha puede obtenerse desprendiendo el ejemplar a través de la disección. Si el anillo externo se desprende del manto, lo cual se logra después de haber fijado al organismo en formol al 10% por 24 horas, el caparazón se puede obtener completo; de no ser así, las placas deben numerarse con tinta indeleble iniciando la numeración con la placa anterior (Knudsen, 1966; Gaviño *et al.*, 1974).

Notas de campo

Cuando se han tomado los ejemplares necesarios, se recomienda apartarse a un lugar confortable y tomar notas de la colecta: fecha, número de muestras tomadas, nombre del cuerpo de agua, distancia, dirección del pueblo más cercano, el municipio y el estado.

Los datos ecológicos son importantes para la localización de ambientes similares. Las muestras deben etiquetarse, una o varias etiquetas deben colocarse en las muestras (sacos, bolsas, frascos), diversos autores enfatizan la importancia de tener ejemplares con etiqueta y los inútiles que son aquellos que no tienen datos. Las etiquetas serán escritas con lápiz en papel de buena calidad, recuerde que los organismos acuáticos están húmedos (almejas) y pueden estar sucios, lo cual permitirá que la etiqueta se moje, se ensucie y pueda desintegrarse: Si los ejemplares se procesarán al día siguiente o en dos (en el caso de las almejas solamente), se coloca a las muestras una etiqueta de metal con un número, el cual se anota en la libreta de campo. Las bolsas o sacos deben estar bien asegurados para evitar la mezcla de unas con otras. Los ejemplares en concha deben lavarse con un cepillo duro para quitarle las incrustaciones. Ejemplares muy sucios pueden limpiarse colocándolos en un recipiente con agua y unos granos de ácido oxálico (van der Schalie, 1974). Algunos almejas se resquebrajan con el tiempo, para evitar esto en parte, se esparce con una brocha parafina disuelta en Xilol o se unta vaselina a los ejemplares (van der Schalie, 1974).

Las notas de campo (Polaco com. per.) y la etiqueta de los ejemplares colectados son muy importantes para mantener e incrementar el valor de la colección.

En el diario de campo la información que aparece debe ser clara (fácil de leer). La información que se toma en el campo es la siguiente: Colector, Fecha, Altitud, Localidad y Estado.

Las localidades deben ubicarse con precisión, para que cualquiera que intente llegar al sitio de colecta lo logre. Para esto se fija un punto de referencia, que puede ser una ciudad, una carretera, un accidente geográfico que no cambie y que aparezca en los mapas comerciales (fáciles de obtener), si se toma como referencia una ciudad o un pueblo importante. Al mismo tiempo el sitio de referencia debe ubicarse dentro de los límites políticos (mismo estado) que la localidad. La localidad tiene un radio de aproximadamente 500m. Ejemplo:

26 km N, 15 km E, San Josecito, Nuevo León, 1500 m. 23-mayo-1993. Apellido Completo, Nombre abreviado.

Las notas de campo incluyen las condiciones de las vías de acceso, el personal que viajó en esa expedición, una relación de las actividades de colecta, registro de los animales observados. Tipo de vegetación, condiciones ambientales, temperatura. Debe registrarse las facilidades de hospedaje, alimentación, transporte, gasolina. Nombre y dirección de los informantes del lugar. Condiciones de captura de interés, la topografía.

Castillejo (1998) recomienda tomar el mayor número de datos. El trabaja con babosas y ha encontrado necesario, para su determinación taxonómica, anotar: longitud de la marcha, color del cuerpo y costados, existencia de bandas o manchas, color de la suela pedia y color del moco del cuerpo y de la suela, así como el comportamiento durante la cópula, tomar fotografías o hacer dibujos.

El diario de campo convencional es de tamaño esquila rayado, con perforaciones. Se hace un segundo margen a un centímetro del margen rojo con tinta china indeleble en todas y cada una de las hojas; sólo se escribe de un lado de las hojas y no se enumeran.

En el primer renglón se pone la fecha, el día y el mes completo. Se inicia la escritura en el segundo renglón. El nombre del colector se escribe en el primer renglón del lado derecho. El año en el primer renglón entre los dos márgenes. El año, nombre y la fecha se repiten en cada hoja. Complementos del Diario de Campo son tarjetas y lápiz (Polaco, com. pers.).

Envíos

Cuando se desea enviar ejemplares para su revisión e identificación, donación o comprobación, se recomienda 1) emplear bolsas de plástico para ejemplares “en espíritu”, los ejemplares se colocan sobre toallas de papel blanco (las que tienen

algún color lo desprenden con el alcohol y el ejemplar toma algo del color) para protegerlo y para absorción del líquido. El ejemplar envuelto en la toalla, se coloca junto con su etiqueta en una bolsa de plástico, se añade líquido hasta que la toalla quede empapada, luego se cierra la bolsa lo mejor posible; si se posee un sellador de calor es mejor pues no se perderá nada de líquido. Se vuelve a colocar el ejemplar en otra bolsa de plástico y se asegura que no se derrame el líquido. El ejemplar o ejemplares se colocan dentro de una caja de cartón resistente o de madera sobre cacahuates de poliuretano u otro material amortiguante, luego se cubren con otra capa de material amortiguante y la caja se cierra.

Cuando se envían conchas y son diminutas, se colocan dentro de cápsulas de gelatina dentro de un vial con su etiqueta, se cierran con un pedazo de algodón procurando que la abertura del vial quede bien cerrada y así evitar la salida de los ejemplares. Evite mezclar conchas grandes con pequeñas, o frágiles con fuertes pues podrían dañarse. Use generosas cantidades de amortiguante cuando empaque conchas frágiles. Los viales se colocan entre cacahuates de poliuretano u otro material amortiguante. Ward y Whipple (1918) recomiendan, al empaquetar las conchas, no mezclar ejemplares pequeños con grandes, pues los pequeños se perderán dentro de los grandes.

Cultivo

Terrestres

Nosotros seguimos la técnica empleada por Walter B. Miller (com.pers.). Al tiempo de coleccionar los moluscos vivos se toma un poco de tierra del sitio de muestreo. Los organismos se mantienen en cajas en el cuarto de cultivo. Se coloca la tierra (tomada del sitio de muestreo) sobre el piso de la caja de cultivo, luego se depositan los ejemplares vivos. La hojarasca o tierra húmeda permite que los organismos tengan donde refugiarse (Thomé, 1986). La caja se cubre con su tapa y una toalla empapada con agua. A la caja se le pone una etiqueta con los datos de colecta y colector, además del número de organismos colectados. Los ejemplares se revisan una o dos veces por semana, se retiran las excretas y el alimento no consumido. Al remover el alimento se recomienda poner especial cuidado y cerciorarse que los ejemplares no se van con los desperdicios al bote de basura, el mismo número de organismos colocado en la caja es el mismo que debemos de tener al tapar la caja, pues los moluscos pueden escapar fácilmente.

Las cajas de plástico pueden lavarse con una solución débil de detergente, se enjuagan muy bien.

Nosotros alimentamos a los moluscos terrestres con lechuga fresca, un poco de avena, trozos delgados de zanahoria y apio; Thomé (1986) también recomienda hojas de alfalfa y col. Las cajas se mantienen en cuartos con temperatura controlada, entre 18 y 20 grados C. Las cajas se elaboran con madera resistente a la humedad y al crecimiento de microorganismos (*red wood*), también hemos utilizado cajas herméticas de plástico. Las cajas de madera tienen las siguientes dimensiones: 18 x 30 x 14 cm. La tapa ligeramente más ancha que la caja: es un rectángulo cubierto en toda su extensión por una malla de plástico (1 mm de luz).

Las cajas empleadas por Thomé (1986) para mantener babosas *veronicélicas* en el laboratorio son de plástico y más grandes que las empleadas por Miller para caracoles (40 x 30 x 15 cm); además en ambos tipos de cajas ha logrado reproducir a los moluscos terrestres.

A la tapa de la caja de plástico, le hemos cortado un rectángulo, dejando un margen para pegar una malla de tela.

Los organismos bajo cultivo se mantienen activos en el laboratorio o cuarto de cultivo, respetando las temporadas de lluvia y sequía de sus lugares de origen, en caso contrario los organismos pueden morir.

Acuáticos

Dulceacuícolas

Estos organismos se mantienen bien entre 15 y 20 grados C (especies de regiones templadas) o entre 20 y 25 grados C (especies subtropicales). El agua del tanque se debe reciclar a través de un filtro de grava o de carbón o cambiarse al menos una vez por semana. Se calcula que la densidad de moluscos adecuada es uno por litro de agua, para evitar problemas de confinamiento. Un fotoperiodo de 12 horas (12 hr luz, 12 de oscuridad) permitirá el crecimiento de perifiton. Los moluscos dulceacuícolas se alimentan agregando a los tanques plantas o substratos duros cubiertos con perifiton, tomados de sus lugares de origen; otros alimentos pueden ser: lechuga, cereal o espinaca. La alta tasa de reproducción de los *físid* se controla manteniéndolos a bajas temperaturas. Las puestas de huevos deben retirarse para controlar las poblaciones (Brown, 1991). Los estanques se rotulan con los datos de colecta de los ejemplares.

Marinos

Los tanques para mantener a los moluscos marinos son básicamente parecidos a los descritos para mantener en el laboratorio a los dulceacuícolas. El agua de mar

puede transportarse desde el sitio de muestreo en bidones o el agua se prepara con la mezcla de sustancias adecuadas (*Instant Ocean*) que puede conseguirse en una buena tienda para acuarios. El agua debe ser aireada, haciendo pasar aire a través del filtro de grava. El alimento de estos moluscos pueden ser pedacitos de camarón congelado, levadura fresca, ostión fresco o alimento para peces, agregado dos veces por semana (Malek y Cheng, 1974).

Anexo 1. Material

A.1.1 Para el campo	
Aceite de clavo, cloroformo	Escafandra
Agua hervida fría	Espátula
Alcohol etílico 70%	Estuche de disección
Avena	Etiquetas
Benzocaína	Frascos (100 ml, 250 ml, 1000 ml)
Bielda para ostiones	Frascos de boca ancha (50, 100, 250, 500, 1000 ml)
Bolsas de papel	Guantes de cuero
Bolsas de plástico (1/2 kg, 1 kg, 3 kg)	Lápiz
Bolsas de tela	Linterna
Bote de remos	Martillo
(2) cajones rectangulares (con malla de bronce), dos: uno dentro del otro	Mechudo
Cámara fotográfica	Mentol, uretano, o pizca de tabaco
Canastos, bolsas o sacos grandes (30 kg)	Nucleador (cilindro ca.10 cm de diámetro y 15 de profundidad)
Cebo: pedazos de jaiba, cangrejo, camarón o pescado (moluscos marinos)	Pescado o estiércol seco de pollo 500 g
Cerveza	Pinzas
Cilindro de metal (25 cm de diámetro)	Pinzas de panadero
Cilindro de Nitrógeno líquido	Red con mango largo
Cíncel	Redes de arrastre finas
Cinta de 50 m de largo	Red de golpeo: lienzo o caja de madera y un palo
Cloruro de magnesio	Red rectangular (15 x 80 cm con malla de 1 mm de luz)
Colador	Saco de yute

MOLUSCOS

Crema de cacahuete	Sulfato de magnesio, uretano, mentol o nembutal
Cuadrado de alambre de 25 x 25 cm	Tabaco
Cubeta	Tarjetas
Cubeta con fondo de vidrio	Tijeras para podar
Diario de campo	Tinta indeleble
Draga Ekman de 15 cm cuadrados	Vasos de plástico
Draga o cucharón Walker	Viales
Equipo de buceo	Viales con tapa de broche

A1.2 Para el alboratorio

Ácido acético glacial	Filtro de arena
AFA	Formaldehído
Alcohol etílico	Formol
Algodón	Formol al 10 %
Bórax	Lupa o microscopio estereoscópico
Cacahuates de poliuretano	Papel filtro
Cajas rectangulares de plástico o madera (40 x 30 y 15 cm con tapas de tela fina)	Pincel o aguja de disección
Cápsulas de gelatina	Solución de Railliet-Henry
cuerda de plástico amarilla	sulfonato de metano
Estanques de acero	Tamices de varias aberturas de malla (de la fina a la gruesa)
Estufa	Toallas de papel blanco
Fenoxetol BPC	Vaso de precipitados
Fenoxetol propileno (fijador)	Xilol (o tolueno o benceno)

Anestésicos

- *Mentol*

Los organismos se depositan en agua limpia o agua de mar para especies marinas y se dispersan algunos cristales de mentol sobre la superficie del agua (Lincoln y Sheals, 1979).

- *Sulfato de Magnesio*

El organismo se coloca en un recipiente con una solución saturada de sulfato de magnesio, aunque se obtienen mejores resultados si se colocan los cristales de esta sustancia gradualmente sobre la superficie del agua cuando el organismo ya está sumergido en ella. Aunque también puede ser agregado al agua gradualmente con lapsos de varias horas en la forma de solución al 20 o 30 por ciento. Para organismos marinos generalmente se utilizan 150 g por litro de agua de mar, sin embargo debido a la presión osmótica que se ejerce sobre el organismo, se pueden ocasionar cambios tisulares en él (Lincoln y Sheals, 1979).

- *Cloruro de Magnesio*

Los organismos marinos se sumergen en una solución isotónica de cloruro de magnesio la cual se prepara usando 7.5% $MgCl_2 \cdot 6 H_2O$ disuelto en agua dulce o agua destilada (Lincoln y Sheals, 1979).

- *Fenoxetol propileno*

Los organismos deben sumergirse en agua y adicionar fenoxetol propileno en una proporción que no exceda el 1 % del volumen de agua en el recipiente (Lincoln y Sheals, 1979).

- *Fenoxetol BPC (B - phenoxyethylalcohol)*

Los organismos deben sumergirse en una solución acuosa al 1 ó 2% de Fenoxetol BPC (Lincoln y Sheals, 1979).

Fijadores• *Bouin (Picro - Formol)*

Solución acuosa saturada de ácido pícrico	75 ml
Formol (comercial)	25 ml
Acido acético (glacial)	5 ml

El material puede fijarse en esta sustancia por 12 horas o dejarse en ella indefinidamente (Lincoln y Sheals, 1979).

• *Bouin alcohólico (AFA)*

Acido pícrico	1 g
Acido acético (glacial)	15 ml
Formol (comercial)	60 ml
Alcohol (80%)	150 ml

El tiempo de fijación debe ser de alrededor de dos horas o quizá un poco más para especies muy esclerotizadas (Lincoln y Sheals, 1979).

• *Solución de Railliet-Henry*

Formol	5 ml
Acido Acético	2 ml
Cloruro de Sodio acuoso al 0.6%	93 ml

Agradecimientos

Agradecemos a Fernando Chiang Cabrera y a Oscar J. Polaco la revisión crítica el manuscrito.

Referencias

- Allison L. N. 1974. Trapping freshwater snails. In: How to Study and Collect Shells, American Malacological Union, A Symposium. Pp.59-61
- American Malacological Union. 1974. How to Study and Collect Shells, American Malacological Union, A Symposium.
- Appleton C. C. 1996. *Freshwater mollusks of Southern Africa: with a chapter on bilharzia and its snail hosts*. University of Natal Press, Pietermaritzburg.
- Baker F.C. 1974. Collecting non-marine shells, fresh water snails. In: How to Study and Collect Shells, American Malacological Union, A Symposium. Pp. 56-59.
- Bequaert J. C. y Miller W. B. 1973. *The mollusks of the arid southwest, with an Arizona Check list*. University of Arizona Press, Tucson, Arizona, EUA.
- Brown K. M. 1979. The adaptive demography of four freshwater Pulmonate snails. *Evolution*, 33(1):417-432.
- Brown K. M. 1991. Mollusca: Gastropoda. In: Thorp J. H. y Covich A. P. (Eds.). *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates*. Academic Press. Nueva York, EUA.
- Castillejo J. 1998. *Guía de las babosas Ibéricas*. Real Academia Gallega de Ciencias, Santiago, España.
- Clench W. J. 1974. Land shell collecting. In: How to Study and Collect Shells, American Malacological Union, A Symposium. Pp. 67-68.
- Coney A.C., Wallace A. T. y Bohannon R. 1981. A method of collecting minute land snails. *The Nautilus*, 95(1):43-44.
- Emberton K. C. 1989. Retraction/extension and measurement error in a land snail: effects on systematic characters. *Malacologia*, 31(157-173).
- Gaviño de la T. G., Juárez C. y Figueroa H. H. 1974. *Técnicas biológicas selectas de laboratorio y de campo*. Limusa. México.
- Gerking S. D. 1957. A method of sampling the littoral macrofauna and its application. *Ecology*, 38(2):219-226.
- Knudsen J. W. 1966. *Biological techniques, collecting, preserving, and illustrating plants and animals*. Harper and Row, EUA.
- Krull W. H. y Mapes C. R. 1951. Studies on the biology of *Dicrocoelium dendriticum dendriticum* (Rudolphi, 1819) Loos, 1899 (Trematoda: Dicrocoeliidae), including its relation to the intermediate host, *Cionella lubrica* (Müller). *The Cornell Veterinarian*, 41(3).
- Lincoln R. y Sheals J. G. 1979. Invertebrate animals, collecting and preservation. British Mus. Nat. Hist. Cambridge Univ. Gran Bretaña.
- Lyman F. 1974. Artesian wells. In: How to study and collect shells. American Malacological Union, A Symposium. p. 61.
- Malek E. A. y CHENG T. C. 1974. *Medical and economic malacology*. Academic Press, Nueva York, EUA.
- Morton J. E. 1967. *Mollusks*. Hutchinson University Library, Londres, Inglaterra.

- Paraense W. L. 1976. A natural population of *Helisoma duryi* in Brazil. *Malacologia*, 15(2):369-376.
- Pearce T. A. 1994. Effect of intraspecific crowding on growth rates in three terrestrial snail species. Tesis de Doctorado (Ph.D.) Universidad de Michigan, Ann Arbor, USA.
- Rocque L. A. A. 1974. Short notes on land snails. In: How to Study and Collect Shells, American Malacological Union, A Symposium. Pp. 69 - 71.
- Roscoe E. J. 1974. Collecting mollusks in desert regions. In: How to Study and Collect shells, American Malacological Union, A Symposium. Pp. 73 -76.
- Russell-Hunter W. D. 1978. Ecology of freshwater pulmonates. In: Fretter, V. y Peake J. (Eds.). *Pulmonates*. Vol. 2A. Academic Press, Londres, Inglaterra.
- Savino J. F. y STAIN R. A. 1982. Predator-prey interactions between largemouth bass and bluegills as influenced by simulated, sumerged vegetation. *Transactions of the American Fisheries Society*, 111(3):255-266.
- Schalie Van Der H. 1974. Fresh water mussels. In: How to Study and Collect Shells, American Malacological Union, A Symposium. Pp. 61- 67.
- Thome J. W. 1986. Instructions to Veronicellidae's preparation. Fundacao Zoobotanica do Rio Grande do Sul, Brasil.
- Ward H. B. y Whipple G. H. 1918. *Fresh-water biology*. John Wiley and Sons, Inc. New York, EUA.

8

INSECTOS TERRESTRES

Hugo Delfín González y Pablo C. Manrique Saide*

Introducción

Los insectos son los animales más abundantes y diversos que han colonizado la tierra. Han invadido prácticamente todos los ambientes terrestres y acuáticos existentes. Este grupo de animales se puede definir, en sentido amplio, como organismos que se desarrollan mediante metamorfosis además de presentar ciclos de vida cortos. Estas y otras muchas características los constituyen como el grupo biológico más exitoso que haya colonizado la tierra. La gran diversidad de los insectos es evidente y representa más del 75% de los artrópodos conocidos e incluye cerca de 30 ordenes distintos. Así, los insectos son, por mucho, el grupo de animales metazoarios más importante en biomasa, variedad genética e interacciones bióticas en ecosistemas terrestres. Su estructura, fisiología y comportamiento han sido objeto de selección natural continua para producir un vasto arreglo de morfologías y estilos de vida, que los ha hecho ocupar millones de nichos.

Las interacciones planta-insecto son las relaciones terrestres más variadas sobre la tierra. Los insectos son importantes actores en los distintos procesos de los ecosistemas y en la sobrevivencia de las plantas. Los insectos son polinizadores de la mayoría de las plantas con flores y recicladores de nutrientes, muchos son herbívoros que dan soporte a muchos parasitoides, depredadores y mutualistas, todos los cuales requieren atención y conservación.

* Departamento de Zoología, FMVZ, Universidad Autónoma de Yucatán.

En cuanto a riqueza de especies, los estimados varían desde 750,000 a más de un millón de especies conocidas. Los cálculos estimados para el probable número de especies que realmente existen, y del que solo se conoce una parte, varían desde 1.84 millones hasta 50 millones, entre las cuales una postura sensata sería cercana a los 10 millones de especies, muchas de las cuales pese a ser muy abundantes son desconocidas para la ciencia. Si consideramos que México es el cuarto país más rico en diversidad biológica y que, cerca del 10% de las especies de los grupos mejor conocidos tienen representación en el País, una estimación conservadora (con ajustes de acotación) permitiría afirmar que México cuenta con cerca de medio millón de especies de insectos.

La riqueza y la abundancia de los insectos está limitada por factores bióticos y abióticos. La mortalidad de los insectos es alta y variable, aunque normalmente la descendencia es alta. La complejidad y la variabilidad de estos factores de mortalidad, en tiempo y espacio, hacen que las predicciones de sobrevivencia de las especies sea incierta. Esta dificultad de predecir es particularmente aguda cuando la perturbación causada por el humano es creciente y la fragmentación del paisaje, modifican las relaciones interespecíficas existentes. La adversidad climática se incrementa hacia las regiones polares, seguida de un decremento general de riqueza de especies, mientras que en las regiones tropicales el comportamiento es inverso. Este decremento aparentemente es condicionado más por adversidad climática que por la productividad primaria en plantas. Como consecuencia de este patrón, durante millones de años, en los trópicos muchas especies de plantas han evolucionado, merced a la menor adversidad climática. Estos factores, aparejados con cambios coevolutivos planta-insecto, y el efecto de los procesos alelopáticos, han contribuido a la gran variedad de insectos en los trópicos. Estos argumentos que intentan explicar la gran riqueza de especies de insectos en los trópicos no son los únicos, existen otros muchos (cerca de 20) pero no es intención de este texto discutirlos (para detalles consulte Pianka, 1978; Stevens, 1989).

Sin embargo, en la aparente estabilidad de las selvas tropicales, hay variaciones diarias de clima, que afectan el comportamiento estacional de las poblaciones de insectos. La variación de las poblaciones es evidente en los trópicos y en zonas templadas, haciendo que el monitoreo de presencia/ausencia o abundancia sea importante en todas las latitudes.

Ecológicamente hablando, la Clase Insecta incluye representantes de todos los gremios, en prácticamente todos los ecosistemas conocidos. De hecho, muchos de los modelos ecológicos que se conocen han sido desarrollados utilizando poblaciones de insectos como objeto de estudio. Esta gran heterogeneidad permite que los insectos provean excelentes modelos de monitoreo y de criterio de selección de áreas naturales protegidas. Los sitios de reserva deben de ser tan

grandes como sea posible para incluir el amplio espectro de fluctuaciones poblacionales. Así, el sitio de reserva debe contener áreas de fauna postglacial, insectos de ecosistemas típicos y raros, refugios de especies endémicas y áreas de especies dinámicas.

Pese a todos estos argumentos, desde el punto de vista conservacionista, los insectos son un enigma. Para muchos especialistas en manejo de fauna silvestre, los insectos no pertenecen a este grupo. Más aún, dentro de las normas oficiales mexicanas donde se indican las especies amenazadas o en peligro de extinción, sólo dos o tres especies de insectos son incluidas, cuando se sabe que existen grupos completos (v.g. abejas nativas con cerca de 2 000 especies en México) que están siendo amenazados por la reducción en los sitios naturales de nidación, por la conversión inadecuada de las áreas silvestres a zonas de cultivo o pastoreo.

Desde la perspectiva antropocéntrica, muchas especies son plagas agrícolas, otras son vectores de enfermedades o son susceptibles de explotación comercial. En muchos textos de entomología o temas afines, se privilegia el estudio de las especies nocivas, soslayando el estudio o la mera mención de las especies benéficas, con lo cual dejan la sensación de que los insectos son animales predominantemente perjudiciales, cuando en la realidad las especies dañinas representan a una minoría de los grupos de insectos existentes. De hecho, algunos de los grupos considerados benéficos son muy diversos y abundantes, baste como ejemplo los insectos parasitoides y los polinizadores que tienen cerca de 120,000 especies, que representan cerca del 10% de todas las especies de organismos conocidas.

Los representantes con importancia económica son muchos y de muy diversos grupos. En la agricultura mexicana se conocen cerca de 500 especies importantes, con representantes regionales como *Schistocerca pisceifrons*, *Bemisia tabaci* y *Myndus crudus* que han ocasionado verdaderos desastres en distintas zonas de la Península de Yucatán. En el área de salud existe una gran cantidad de insectos relevantes. A manera de ejemplo, se conocen vectores de enfermedades como *Aedes aegypti*, vector del dengue; especies del género *Anopheles*, transmisoras del paludismo; *Triatoma dimidiata*, vector de la enfermedad de Chagas y *Cochliomyia hominivorax*, causante de la miasis o gusanera del ganado.

Existen otros muchos grupos con importancia económica, por los beneficios que de ellos derivan, aunque la mayoría de ellos tienen un uso relativamente restringido en el País. La mayoría de ellos presentan expectativas de desarrollo en tecnología y explotación que no han sido exploradas a plenitud. Entre los ejemplos más importantes están el complejo multiespecífico de abejas nativas, útiles como polinizadoras controladas de cultivos en los que se ha probado, con algunos ejemplos, que incrementan sensiblemente la productividad; y los grupos de avispas, moscas, escarabajos y hormigas (parasitoides y depredadores) útiles como controladores de poblaciones plaga

y verdaderas alternativas al uso de plaguicidas. Otros ejemplos son el gusano de seda (*Bombix mori*), la cochinilla de la grana y el grupo de los insectos comestibles, sin soslayar la importancia de los grupos silvestres.

En todos los casos la información es muy abundante y no es intención de este texto agotarla. Sin embargo, lo aquí referido sirve de justificación o de razón de estudio para los profesionales en manejo de recursos naturales. Es indispensable que el profesional conozca con cierta amplitud este grupo de organismos y las posibilidades que se tienen de manejarlos como recurso. Para alcanzar este gran objetivo de manejo, es necesario cubrir requerimientos de conocimiento que van desde el proceso inicial de conocer a los artrópodos hasta aquellos que contribuyan al conocimiento de la diversidad, relaciones insecto-humano existentes y descubrimiento de otras, para posteriormente poder manejarlos como recurso, ya sea promoviendo los procesos en que se involucran o interrumpiendo los mismos. Sin embargo, entre ambas etapas existen otras que requieren trabajar con los artrópodos y que serán tema del siguiente texto, tales como: los principios generales para muestrear insectos terrestres, los métodos generales para la recolecta y preservación de artrópodos, y finalmente ejercicios para discutir y poner en uso algunos de los conceptos e información suministrada.

Para ampliar distintos aspectos de los temas aquí descritos sugerimos consultar para aspectos generales de poblaciones animales a Andrewartha (1973) y Pianka (1978); de muestreo de insectos a Morris (1963), Southwood (1978), Calabuig (1988), Morón y Terrón (1988) y Kuno (1991); para muestreo en áreas agrícolas a Barfield (1989), Ruesink y Kogan (1990), Pedigo y Buntin (1993); y para métodos de recolecta de muestras a Carballo (s/f), Marcos-García (1988), Martin (1977), Muirhead-Thompson (1991), Peterson (1964), Papavero y Vanzolini (1990)

Principios generales

Todo aquel que pretende estudiar algún grupo de insectos, debe contemplar que una de las partes más importantes de su trabajo es el diseño del muestreo, mediante el cual pretende generar información que le permita contestar las preguntas que se ha planteado. Los aspectos generales de este diseño y algunos de los análisis posibles son explicados en el primer capítulo de este texto. Es importante destacar que en este capítulo se incluyen sólo algunos aspectos generales del muestreo de poblaciones de insectos, ya que los detalles y posibilidades que se requieren son prácticamente imposibles de incluir aquí. Más aún, muchos de los detalles metodológicos deberán ser ajustados dependiendo de la población que se pretende estudiar.

Es común que se confundan los términos colecta y muestreo, cuando en realidad son fundamentalmente diferentes. Se establece un programa de colectas o recolectas cuando la información que se requiere no va más allá de la composición de especies de un sitio (listados florísticos o faunísticos), de establecer el estado de desarrollo fenológico de la población a estudiar o de estimar el grado de parasitismo que presenta un área dada. En cambio, los programas de muestreo permiten establecer parámetros poblacionales (v.g. densidad, mortalidad, natalidad, etc.) basados en la representatividad de las muestras. Por estas razones, ambos tipos de programas son aplicables a poblaciones plaga o silvestres, pero cuando se trata de poblaciones experimentales o aisladas, carece de sentido establecer programas de recolecta.

Antes de iniciar cualquier trabajo de este tipo, es importante establecer objetivos claros para el estudio que se pretende iniciar. Desafortunadamente, es relativamente común encontrar estudios ecológicos en los cuales se ha sacrificado el planteamiento de hipótesis con sentido biológico por el diseño novedoso de experimentos. Las técnicas modernas de muestreo son sólo herramientas que seducen con facilidad, por lo que es conveniente ser cauto para no valorar parámetros con significado biológico limitado. Más aún, un buen diseño estadístico debe estar soportado por métodos adecuados de trabajo de campo y por la selección correcta del equipo y técnicas de toma de muestras. Un diseño experimental correcto abastecido de información obtenida mediante técnicas inadecuadas puede llevar a conclusiones incorrectas. De ahí que sea importante efectuar una revisión bibliográfica extensa. La mayoría de los aspectos metodológicos relevantes para el diseño y toma de muestras pueden ser resueltos durante esta revisión. Algunos detalles metodológicos requerirán ser resueltos con la experiencia o creatividad del investigador.

En general, el muestreo de insectos se realiza para conocer distintos aspectos de las poblaciones silvestres (interés científico) o para establecer programas de manejo de poblaciones específicas (v.g. plagas, vectores de enfermedades, grupos indicadores, etc.). En ambos casos, es de uso común entre los entomólogos desarrollar programas preliminares de muestreo en el que se definen una serie de parámetros útiles en el diseño formal que ha de ser utilizado.

Los programas preliminares de muestreo (preliminares), permiten adquirir conocimientos mínimos sobre el grupo de interés y permiten establecer los límites del universo de trabajo. Lo usual es que cuando se pretende muestrear un solo hábitat se establezcan programas de carácter intensivo en los cuales el número de muestras y el esfuerzo de colecta por unidad de muestra es mayor que cuando se establecen programas extensivos (para dos o más hábitats). Esta definición del universo de muestreo la mayoría de las veces se traduce en estimaciones de la extensión de la zona de muestreo y del número de especies que serán estudiadas.

Normalmente cuando las especies de interés se ubican en áreas de cultivo se considera la plantación completa como el universo. En estos casos es importante reconocer si la especie de interés es plaga directa (produce daño directo por alimentación) o indirecta. Las plagas indirectas no siempre son fáciles de reconocer ya que puede tratarse de vectores de algún patógeno como virus o que sus secreciones o excreciones sean utilizadas por otros organismos para desarrollarse, como las mielecillas residuales de los pulgones que producen fumaginas que son las que realmente deterioran el producto. En poblaciones silvestres es necesario restringir el área a muestrear, ya que normalmente la distribución natural del grupo de interés supera la capacidad operativa y financiera del investigador .

Un primer aspecto que es establecido mediante el muestreo preliminar es la disposición espacial relativa de la población. En la literatura se consignan muchos patrones de distribución distintos, aunque en la práctica se conocen tres fácilmente reconocibles: uniforme, agregada y al azar. A partir de un número arbitrario de muestras (tomadas durante el muestreo preliminar) se calcula la proporción media: varianza, cuando los valores son muy similares se acepta que la población presenta una distribución al azar (muy común en poblaciones silvestres), cuando el valor de la media es superior al de la varianza se trata de poblaciones con distribución uniforme y, cuando la varianza es mayor al valor de la media se trata de poblaciones con distribución agregada. La distribución uniforme y la agregada de poblaciones de insectos son comunes en áreas de cultivo y plantaciones. Durante este muestreo es importante probar con distintos tamaño de muestra, para elegir aquel que incluya la mayor variación posible y que mejor represente el comportamiento de la población.

Un aspecto no siempre señalado en las descripciones de métodos de muestreo es la estimación de la relación costos/esfuerzo del trabajo de campo. Resulta poco práctico hacer proyecciones que implican números de muestras y costos que superan la capacidad técnica y financiera del grupo de trabajo. Es más recomendable, reducir estos números a niveles manejables, aunque se esté por debajo del número de muestras calculado. Con los valores obtenidos durante la prospección es posible establecer el número teórico de muestras (N) como:

$$N = (S/E X)^2$$

S = Desviación estándar de las muestras

X = Media de las muestras

E = Error estándar predeterminado

Sin duda, conocer la biología básica del grupo o de la especie a estudiar permite que el diseño y el muestreo logren su objetivo. Es condición deseable cono-

cer las características biológicas de las especies de interés, al menos en general, tales como el tipo de metamorfosis, duración del ciclo de vida, hábitos alimenticios y aspectos de conducta importantes (v.g. tanatosis, donde el adulto se finge muerto y se arroja al suelo para evitar el ataque de depredadores). La toma de muestras debe ser especialmente rigurosa en estos aspectos, ya que no siempre se toman muestras de todos los estadios de desarrollo de la especie. Es común que los diferentes estadios de desarrollo de grupos relativamente sésiles (v.g. fauna edáfica, pulgones) sean muestreados simultáneamente (ametábolos y muchos paurometábolos). Sin embargo, cuando las formas adultas son voladoras activas se requiere al menos de dos muestreos distintos para representar las formas juveniles y las adultas. De ahí que sea necesario establecer con anticipación la etapa o etapas fenológicas sobre las que se aplicará el muestreo.

En los grupos ápteros, las formas juveniles se distinguen de las adultas por las diferencias en tallas y los caracteres sexuales externos (ametábolos). En otros grupos de insectos las formas juveniles son similares a las formas adultas, excepto por las diferencias en tamaño, el desarrollo de las alas y los caracteres sexuales externos (paurometábolos). Los insectos con formas adultas que son voladores activos incluyen grupos en el que las formas juveniles son distintas morfológica y ecológicamente de las adultas, (v.g. larvas acuáticas, adultos voladores) (hemimetábolos); grupos que presentan formas larvales, pupales y adultas totalmente distintas entre si (holometábolos); y grupos que también presentan formas larvales, pupales y adultas, sólo que las etapas larvales presentan al menos dos formas totalmente distintas (hipermetábolos).

El tamaño de la unidad de muestreo. Es la subdivisión arbitraria del habitat, de manera que cada unidad es perfectamente reconocible, que sea estable o que los cambios sean cuantificables y que todas las unidades tengan la misma probabilidad de ser seleccionadas. Morón y Terrón (1988) establecen dos tipos de unidades muestrales: las especiales y las temporales. Las primeras incluyen las unidades de superficie, de volumen, de peso y unidades biológicas, de manera que las unidades se refieren como número de insectos por unidad (v.g. número de escarabajos xilófagos por m² de corteza, número de moscas por kilo de fruto, número de ectoparásitos por ave). Las unidades temporales se refieren al número de insectos capturados por alguna trampa utilizada en un tiempo determinado, de manera que las unidades se refieren como individuos / área / tiempo.

Otro aspecto que debe ser establecido es la posible estratificación de la muestra, que está directamente relacionado con el habitat colonizado por el grupo de interés. No todos los muestreos requieren de estratificación, solo aquellos en que la población a estudiar muestra una marcada preferencia por algún habitat. Es necesario tener en cuenta que la estratificación debe corresponder y ser congruente

con los objetivos del estudio. Los diferentes estratos que se decidan deben ser lo más homogéneos posibles, de modo que con una muestra de cada estrato se obtenga una estimación precisa de la media. Los estratos serán utilizados como variables independientes del estudio. Ya que las modalidades que pueden adquirir las estratificaciones son prácticamente infinitas, es difícil generalizar. Las estratificaciones más comúnmente utilizadas están referidas a la ubicación preferencial de las especies en las distintas “capas” de la cubierta vegetal (y todas las subdivisiones posibles), la ubicación en los cultivos, densidad y distribución de plantas hospederas, los accidentes del terreno, a distintos factores físicos como temperatura o niveles de humedad, distintos horarios de actividad y cambios edáficos, entre otros. La literatura puede ser muy útil en este trabajo, aunque la experiencia del investigador es un factor muy importante. A continuación describiremos algunos ejemplos hipotéticos que consideramos pueden aportar algunas ideas útiles.

- a) En una isla recientemente colonizada, se decidió introducir por primera vez cultivos de tomate. Después de varias cosechas exitosas, inesperadamente surgió una enfermedad viral desconocida. Los antecedentes sobre enfermedades similares en otros sitios sugieren que los virus son transmitidos por insectos fitófagos que al momento de absorber la savia de la planta inoculan el patógeno. También se sabe que en los casos reportados algunos de los fitófagos atacan solo los brotes nuevos, en otros la base de la planta y en otros la planta completa. En este caso, donde no existe información directa del problema, es recomendable establecer una estratificación tan fina como sea posible, para reconocer los fitófagos en las muestras de fauna edáfica, en la fauna directamente asociada a la raíz y a cada parte de la planta, que sería la manera más clara de definir cual es la especie o especies problema y si ésta muestra distribución preferencial en la planta y en el cultivo.
- b) En un estudio de diversidad se pretende probar si existen diferencias entre la composición de las comunidades de insectos asociadas a monocultivos y cultivos mixtos de maíz y frijol. La estratificación de ambos tratamientos debe ser esencialmente igual aunque los cultivos mixtos, por definición, presentan más estratos. En los monocultivos de maíz es posible establecer una gran cantidad de estratos. La fauna asociada a las axilas de las hojas es diferente a la encontrada sobre la caña, la asociada a la raíz y a la fructificación. ¿La fauna encontrada en las cañas y axilas inferiores es igual a encontrada en las superiores? Probablemente en el monocultivo las diferencias sean pequeñas y estén dadas por factores como luminosidad, pero en los cultivos mixtos, donde las plantas de frijol generan un microambiente diferente, probablemente las diferencias en la composición sean significativas.

- c) Se pretende establecer en una comunidad urbana una campaña de control de poblaciones larvarias de *Aedes aegypti*, el mosquito vector del dengue. Se sabe con anterioridad, que las larvas de este mosquito se desarrollan en criaderos (receptáculos pequeños de agua naturales o artificiales) ubicados preferentemente en ambientes domésticos y peridomésticos en asentamientos urbanos y suburbanos, y que existen otras especies de mosquitos que también se desarrollan en estos mismos criaderos. Sin embargo, se desconoce cuáles son los principales criaderos para *Aedes aegypti* y las otras especies en la comunidad, la importancia potencial de cada uno de los mismos y las variables ambientales o socioeconómicas relevantes para el caso. La estratificación de las muestras (tipos de receptáculo y disposición) deberá indicar cuáles son los microambientes y áreas prioritarias para establecer el programa de control haciendo más eficiente la distribución de los recursos humanos y económicos.
- d) En un cultivo con alto valor comercial, se pretende discriminar aquellas insectos visitantes que efectúan los mayores aportes a los procesos de fecundación, la planta presenta flores hermafroditas y flores femeninas. Por literatura se sabe que otras especies de la misma familia de plantas, son visitadas principalmente por abejas nativas y mariposas que utilizan los recursos florales aparentemente con preferencias de actividad horaria. La estratificación de las muestras implicaría la separación de los insectos que visitan los diferentes tipos florales, segregando las muestras en función de horarios preestablecidos.

Localización espacial de las muestras

Tan importante como los factores antes descritos, es la disposición de las muestras, es decir, el método para la toma de muestras. Se han descrito muchos métodos distintos, aquí solo se incluyen los que se consideraron más generales. En todas las descripciones se asume que ya se ha realizado el muestreo prospectivo y que ya se conoce el patrón general de distribución, el tamaño de la muestra, el número de muestras y se ha establecido la estratificación de la muestra.

- a) “A troche y moche”. El colector toma las muestras totalmente al azar y sin ningún orden definido. Este “método” lleva a considerar densidades y patrones de distribución de la población erróneas.
- b) Al azar simple o sin reemplazo. Útil cuando la población a muestrear no presenta preferencias marcadas por un habitat. Se establecen cuadrantes, me-

diante números aleatorios se eligen los cuadrantes que han de ser muestreados (ignorando los números que aparezcan más de una vez y eliminando los periféricos para evitar el efecto de borde), se efectúa el muestreo y se contabiliza la muestra. Aunque este método se utiliza cuando se pretende coleccionar todos los insectos del cuadrante, el no estratificar la muestra resta la calidad de la información que se puede obtener.

- c) Al azar estratificado. Útil cuando la población a muestrear tiene marcadas preferencias por un habitat. Se utilizan los mismos pasos que en el muestreo al azar simple, pero requiere que previamente se establezcan los estratos a muestrear.
- d) Sistemático. Uno de los métodos más utilizados en entomología. La toma de muestras se realiza a intervalos regulares de distancia y/o tiempo, es decir, se obtienen muestras fácilmente comparables sin necesidad de ajustes estadísticos sofisticados. Las modalidades más comunes que se utilizan son los transectos y los censos. Los transectos son rutas de muestreo rectas de distancia y anchura predeterminadas, a través de las cuales se capturan las muestras a intervalos regulares. En el estudio de poblaciones silvestres los transectos adquieren la dirección que el investigador decide. Es frecuente que los métodos de muestreo que implican el uso de trampas (activas o pasivas) se coloquen en transectos a intervalos de distancia regulares. En cultivos agrícolas se utilizan muchas modalidades generales: transecto diagonal, dos transectos formando una “X”, transectos con forma de “N”, de “W” y de “C”, la toma de las muestras se puede hacer manualmente, con red o con trampas. En cambio, los censos normalmente se utilizan para muestrear poblaciones en función de tiempos predeterminados, normalmente cortos. Es muy común el uso de esta técnica para muestrear polinizadores en flores previamente elegidas durante lapsos de tiempo igualmente cortos.
- e) Sistemático con inicio al azar. Metodológicamente es igual que la modalidad anterior, sólo que el inicio de la toma de muestras es al azar y no predeterminado.
- f) Secuencial. Este método permite separar las distintas densidades o fluctuaciones de la población que pueden presentarse a lo largo de intervalos de tiempo predeterminados. El método supone que el patrón de distribución de la población no varía en el tiempo, cosa que puede ser o no cierta, según el caso (v.g. grupos migratorios, picos poblacionales de plagas, etc.). En entomología este método es muy utilizado, aunque normalmente se utiliza junto con alguna variante del sistemático, de modo que se obtienen fluctuaciones temporales, es decir, cambios estacionales de la población.
- g) Orientado o localizado. Este método en general se considera poco formal, pero resulta muy útil para efectuar detecciones o comparaciones rápidas, que deberán ser validadas mediante algún procedimiento formal.

Estimadores de densidad

En la literatura se reconocen tres métodos para estimar densidades poblacionales. Los absolutos, los relativos y los índices de población. Los más prácticos son los relativos.

Métodos absolutos

Producen resultados del tipo densidad/unidad de superficie. Existen cuatro modalidades generales.

Exclusión o remoción

Se basa en el hecho de que si miembros de una población son removidos, las subsecuentes capturas serán más reducidas, entonces la tasa de declinación puede ser usada para estimar el tamaño original de la población. Gráficamente se pueden computar las capturas (variable independiente) contra los valores de las capturas (variable dependiente). El método presupone al menos dos muestreos secuenciales, y que durante el tiempo entre muestras no han ocurrido, nacimientos, muertes ni migraciones. En la práctica el método se realiza con la toma de muestras con red, trampas o por el aislamiento de áreas predeterminadas y la captura de todos los organismos presentes.

El aislamiento de áreas predeterminadas y la captura de todos los organismos presentes tiene varios inconvenientes, además del sacrificio masivo de organismos. Al momento de instalar las cámaras de exclusión normalmente las formas adultas que son voladoras activas escapan al confinamiento y ya no son muertas o colectadas con las aspiradoras. El uso de este procedimiento resulta útil cuando lo que se pretende muestrear son formas sésiles.

Distancia al vecino más próximo

Método muy utilizado en plantas y que en insectos sésiles y edáficos ha probado ser útil. Las muestras se valoran mediante el índice de Clark y Evans, donde:

$$m = (\overline{pr})^{-2}$$

donde: m = densidad por unidad de área.

r = distancia media entre vecinos.

p = índice de agregación. Con p = 2 en grupos con distribución al azar y p > 2 en grupos con distribución agregada.

Muestreo por unidad de habitat. Se refiere a la toma de muestras estratificadas de las distintas unidades ambientales posibles. Para el muestreo del aire se utilizan redes y trampas rotatorias. Para los muestreo de vegetación se puede utilizar el total de la vegetación/unidad de muestreo o referir los resultados por planta o parte de planta, según se haya estratificado la muestra (densidad = número de insectos por planta, por plantas o por unidad de superficie). El muestreo de la fauna edáfica normalmente se estratifica como fauna de la hojarasca y la fauna propiamente del suelo. Las capas del suelo se pueden estratificar mientras que establecer estratos en la hojarasca es mucho más complejo.

Método de captura/recaptura

El método también presupone que durante el tiempo entre muestras no han ocurrido, nacimientos, muertes, migraciones y todos los organismos tienen la misma probabilidad de ser capturados. Se valora mediante el índice de Lincoln.

Los mejores estimados se obtienen cuando el número de organismos marcados y liberados (a) es muy similar a los recapturados (n):

$$p = \frac{(an)^2}{r}$$

Donde: p = tamaño de la población total
 a = número de organismos marcados y liberados
 n = número de organismos recapturados
 r = número de organismos marcados y recapturados

Métodos relativos

Dado que el objetivo de estos métodos para estimar densidades poblacionales es el de muestrear una proporción constante de los organismos presentes, producen resultados del tipo densidad/unidad de esfuerzo, la unidad de esfuerzo se expresa en función del método relativo empleado. Las unidades de esfuerzo pueden pertenecer a dos grandes grupos: conteos visuales y trampas. Los primeros sólo se utilizan para detecciones tempranas de plagas, normalmente comparadas con estándares conocidos, de algunos cultivos como el algodón, el cafeto, frijol, pastos y caña de azúcar, entre otros. Un buen ejemplo de esto es la valoración del nivel crítico de la plaga del picudo en frijol. El procedimiento establece revisar 20

vainas por parcela, se considera que la plaga alcanza niveles críticos si el 3% de estas vainas está dañado.

Los métodos de trapeo son los más utilizados. Sin embargo, existen diversos factores de la biología de los organismos y ecológicos que deben ser considerados para efectuar estimaciones de densidad por métodos relativos. Así, los factores que pueden afectar la captura hecha son la densidad o tamaño real de la población, el número de animales que hay en una fase de desarrollo determinada (grado de maduración), el nivel de actividad de la especie y la respuesta de la especie y sexo ante la trampa. Más indirectamente las condiciones climáticas, la actividad horaria, la disponibilidad de alimento y la eficiencia del método de muestreo. Es importante conocer los principios en los cuales están basadas las trampas para efectuar selecciones de equipo adecuadas a los objetivos. Los valores así obtenidos se refieren como índices relativos de población (v.g. número de organismos / trampa / tiempo).

Índices indirectos de población

En el sentido más amplio, estos índices son estimaciones indirectas de la población, referidas a distintas unidades operativas. Así, un índice relativo puede ser el número de nidos por unidad de área (v.g. termitas, avispas, abejas), el número remanentes de presas en contenidos estomacales de un depredador, de la frecuencia del daño en plantas en porcentaje, etc. Estos índices son de uso e interpretación limitados.

Recolección y preservación

La recolección de insectos hace referencia a la captura de insectos para su estudio posterior, sin considerar los aspectos poblacionales de la especie obtenida, atendiendo únicamente a propósitos cualitativos. Una recolección general es aquella en la que se toman todos los insectos vistos por el recolector. Sin embargo, para los fines de este texto, es más relevante la conocida como específica, que tiene un objetivo concreto de estudio y relación con conocimiento de microambientes.

De manera general, podemos dividir a nuestros métodos de captura en dos grandes grupos: *métodos directos* y *métodos indirectos*¹. Los primeros hacen

¹ Clasificación basada en Morón y Terrón, 1988. Pueden seguirse otros criterios tales como adultos-inmaduros; diurnos-nocturnos; voladores activos-no voladores; terrestres-acuáticos-aéreos, etc.

referencia a aquellos que se utilizan cuando se tiene conocimiento de los hábitos del insecto e implican localizarlo en su microambiente (*v.gr.* suelo, aire, agua, etc.), aplicando herramientas de captura de acuerdo con su talla, velocidad o hábitos. En contraste, los métodos indirectos se utilizan cuando no podemos observar con facilidad al insecto (densidades poblacionales bajas o inaccesibilidad de microambientes), necesidad de grandes muestras de ejemplares o existe un desconocimiento (en grado variable) de los hábitos. En el cuadro 1 se enumeran los principales métodos, herramientas de captura y observaciones generales con relación a los mismos. Cada uno de ellos será el tema del texto subsecuente y se describen a continuación.

Métodos directos

Red aérea

Consiste en un aro circular de metal (preferentemente acero inoxidable) sujeto en un mango de tubo de plástico (PVC) o de aluminio y que sostiene una red de tela de “nylon”. Las redes entomológicas pueden ser adquiridas de casas especializadas o pueden ser caseras, la segunda opción es mucho más económica y no requiere de gran esfuerzo. Para confeccionar una red, primero se forma un aro de alambre cuya unión con el mango debe hacerse de manera que los extremos queden doblados en la forma que se ilustra en la figura 1. Los extremos se ensamblan en los orificios hechos en un extremo del mango. Esta estructura puede ajustarse con alambre o con una abrazadera. Lo segundo es más aconsejable pues facilita el transporte de la red (puede ser desmontada), lavada e incluso reemplazada cuando se requiera.

En cuanto al tamaño, todo corresponde a conveniencia personal; sin embargo, las medidas recomendables son: un mango de un metro de largo con un aro cuyo diámetro sea entre 30-45 cm. Hay que tener en cuenta que un aro grande capturará más insectos y será más cómodo a la hora de extraerlos del interior de la red; pero uno más pequeño será más cómodo en su manejo en cuestión de velocidad y esfuerzo, además de ser mucho más maniobrable en zonas con vegetación densa o espinosa. La bolsa debe confeccionarse de “nylon” de color claro². En cuanto a sus medidas, el largo debe equivaler de 1.5 a 2 veces al diámetro del aro. La bolsa debe tener el fondo redondeado y el borde superior debe

² El color de la bolsa puede ser variable. En este caso se recomienda clara para facilitar la ubicación de los insectos al interior de la red, aunque también se ha sugerido que el color verde es más apropiado para recolectar abejas o el azul o verde claro para mariposas.

Figura 1



Red aérea o entomológica

estar protegido con una tira de manta u otra tela de algodón resistente, para evitar el desgaste por el roce continuo con la vegetación. El largo de la bolsa recomendable es entre 60-70 cm

La captura con la red no es difícil, pero requiere de cierta práctica. Al pasar un insecto volando o estando posado, se da un golpe brusco, haciendo que entre en la bolsa de tela; se voltea inmediatamente el aro hacia abajo, de modo que el fondo de la bolsa (donde debe de haber quedado atrapado el insecto) quede colgando, impidiendo la salida del ejemplar. Éste se sostiene entonces delicadamente por fuera de la red y se pasa al tubo de captura. También puede irse redeando sobre la vegetación, para después revisar la red. Es posible coleccionar muchas cosas de esta manera, en especial cosas que no vemos volar. Con esta herramienta podemos recolectar casi todos los tipos de insectos voladores como mariposas, grillos, escarabajos, chinches, avispas, abejas y moscas de tamaño variable (un centímetro en adelante).

Red acuática

Esta red se utiliza para recolectar insectos que viven libremente o en el lecho de cuerpos de agua, ya sea en su estado adulto o en alguna etapa juvenil. Esta red es

semejante en diseño con la red aérea; sin embargo, los materiales para su confección son más resistentes. El aro puede ser circular, semicircular o triangular (con esquinas redondeadas) (figura 2), y se recomienda que el material del aro sea de aluminio y esté sujeto a un mango de tubo de aluminio con la red de malla plástica de mosquitero. La captura con esta red varía dependiendo del nivel o estrato del agua donde se pretenda utilizar. Así, simplemente desplazándola en el agua, apoyada en el sustrato o como pala si se trabaja sobre el fondo. Con esta red podemos recolectar insectos en sus diferentes etapas de desarrollo (larva, pupa, ninfa o adultos), como escarabajos, chinches, larvas de moscas y mosquitos, náyades de libélulas, etc.

Aspirador

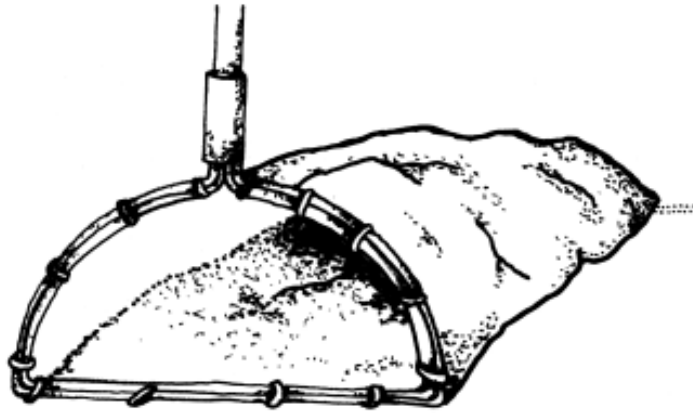
Es un aparato para recolectar rápidamente un gran número de insectos pequeños (pequeñas moscas y mosquitos, escarabajos, chinches, chicharritas, etc.), en particular si uno desea atraparlos y mantenerlos vivos. Hay dos tipos de aspiradores: la variedad de captura directa y la de aspirador en forma de U. La primera consiste en un simple tubo de cristal con una manguera de látex (Figura 3). El extremo de unión del tubo y la manguera se cubre con una malla fina, para evitar que al succionar, los insectos pasen a través. Los insectos quedan atrapados, para de inmediato ser traspasados a un tubo separado.

En el segundo caso, está formada por un tubo de ensaye o algún recipiente parecido, al cual en la boca se le coloca un tapón de hule con dos perforaciones; por una de ellas entra un tubo (boquilla) con el extremo protegido por una malla, y por la otra, un tubo en cuyo extremo se coloca una manguera de látex (colector) (Figura 3). Los insectos quedan retenidos en el interior del frasco, donde pueden ser sacrificados o aturridos con un poco de humo de cigarro o transferidos a un frasco con alcohol al 75%.

Separación manual directa

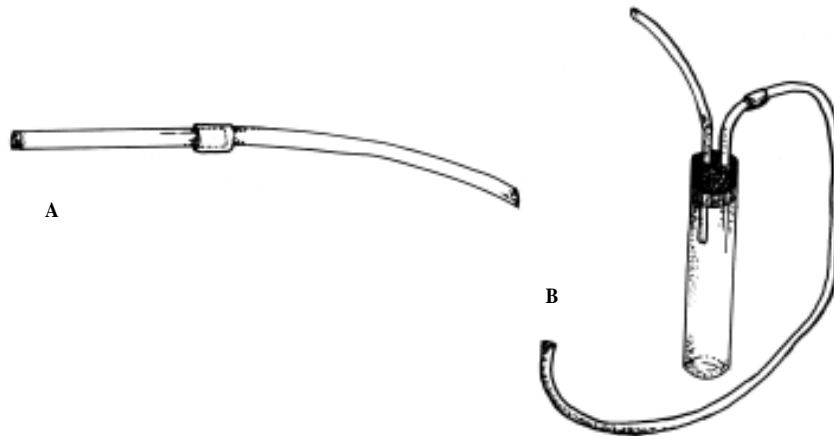
Este método se recomienda en el caso de los insectos que viven en el suelo (edáficos). Consiste en delimitar un área de muestra (comúnmente de 0.5 m²) eliminando la vegetación aérea, donde se excava un foso alrededor y se separa la fauna asociada a cada estrato determinado (5-20 cm de espesor dependiendo del tipo de suelo, profundidad y objetivo de estudio) desmenuzando meticulosamente el suelo. De esta manera, recolectaremos la macrofauna edáfica.

Figura 2



Red acuática o Seine semicircular.

Figura 3



Aspiradores de insectos. A. Aspirador de boca para captura directa. B. Aspirador de boca modificado o en forma de "U".

En el caso de microfauna, puede utilizarse la separación manual después de un lavado de tierra, para el cual se toma un bloque cilíndrico de tierra con un nucleador (la unidad o medidas depende del tipo de suelo, profundidad y objetivo de estudio) y se separa en los distintos estratos deseados en bolsas o botes para

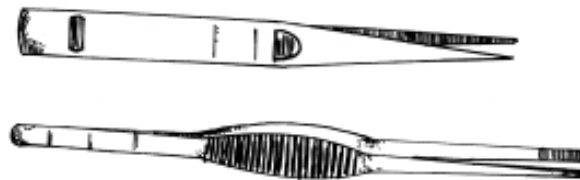
posteriormente depositarlos en cubetas con cinco litros de agua. Una vez disuelta la tierra, el contenido se vierte sobre un tamiz de malla con abertura de 4 mm² hacia otra cubeta. Los materiales retenidos en la malla se pasan a un frasco con fijador-conservador y el agua lodosa se pasa por otro tamiz con malla de 2 mm² para separar a los insectos más pequeños, repitiendo la operación si es necesario con otro tamiz más fino.

La separación manual también se hace cuando queremos recolectar insectos asociados con tejidos xilosos de los árboles, barrenadores de tallo, frutos o semillas, minadores de hojas, visitantes de flores, insectos sociales o eusociales y habitantes de madrigueras de vertebrados o ectoparásitos. Lo que se recomienda es obtener datos particulares del microambiente (área, ubicación específica, especie asociada, signos de daño, etc) e ir revisando cada una de las partes del microambiente conservando cada una de las faunas por separado. También deben de tenerse atención en relaciones larva-pupa-adulto, parasitoides, depredadores o comensales.

Pinceles, pinzas, frascos y tubos

Estas son herramientas de uso general para recolectar o manipular a los insectos en el campo y el laboratorio. Los pinceles, preferentemente de pelo natural (v.gr. pelo de camello) de varios tamaños y humedecidos con alcohol, son útiles para la recolecta de insectos pequeños. Las pinzas de acero cromado o inoxidable son las herramientas más útiles para manejar insectos. El tamaño y forma de las mismas va en relación con el insecto que se desee manipular; sin embargo, es útil tener, al menos, una de mango ancho y puntas finas (aguja de precisión o de relojero) y una de punta roma de tamaño mediano (Figura 4).

Figura 4



Pinza de relojero (arriba) y pinza de punta roma.

Los frascos y tubos son útiles en todo el proceso de recolección y preservación del insecto. Sirven para capturar, transportar y almacenar insectos. Los más utilizados son de: 50-100 mL. para muestras pequeñas o medianas, de 250-500 mL para las muestras grandes. Cualquiera que sea el volumen, los frascos deben ser de fondo plano y boca ancha, con tapa de rosca (hermético) y de material resistente. Es recomendable que los frascos pequeños sean de vidrio y que los de mayor volumen sean de plástico (poliestireno).

Métodos indirectos

Pueden reconocerse tres grandes grupos de métodos indirectos de acuerdo a los principios en que basen la recolección y captura de insectos (Cuadro 1). El primero se basa en la acción mecánica o física generalizada sobre un substrato en la que es posible encontrar una especie. El segundo, en el aprovechamiento de atrayentes visuales u olfativos que puedan estimular al insecto a grandes distancias. Estos métodos y trampas están basados en la respuesta a estímulos propios del comportamiento innato o adquirido por los individuos de cada especie. Finalmente, podemos reconocer un tercer grupo de métodos, basado en la probabilidad aleatoria que tiene un organismo de cruzar por una o varias trampas pasivas. Estas trampas se utilizan para insectos caminadores, saltadores o voladores y son pasivas, inertes o de intercepción³.

Figura 5



Red entomológica de golpeo.

³ Si se desea ahorrar tiempo y mejorar en cuanto a eficiencia de la captura, la mejor opción es usar trampas. Las trampas son elementos pasivos y requieren para su funcionamiento de la actividad y movilidad de los insectos. Son particularmente útiles en aquellos estudios que incluyen el conteo de número de individuos y la aplicación de algún análisis estadístico que compare lo atrapado por las trampas o por sesión de trampeo.

Los métodos basados en la acción mecánica sobre un sustrato

Red de golpeo

Esta red se utiliza para recolectar insectos que viven en la vegetación o reposan en ella. Se incluye en los métodos indirectos porque la gran variedad de especies de insectos que encontramos en la vegetación, así como la variedad de sus hábitos, no son del todo conocidas por el recolector al usar esta herramienta. Es semejante en diseño con la red aérea (véase métodos directos); sin embargo, los materiales para su confección son más resistentes. El aro debe ser circular (figura 5), y se recomienda que el material del aro sea de alambre grueso y esté sujeto a un mango de madera con la red de manta gruesa con los bordes reforzados con una tira extra de manta.

La captura se realiza golpeando con firmeza la vegetación herbácea o arbustiva en forma horizontal. El contenido de la bolsa se vacía en un frasco grande de boca ancha o bolsas de plástico. Se utiliza principalmente para chinches y escarabajos, aunque también se colectan avispas y pequeñas moscas.

Paraguas entomológico

Consiste en un rectángulo o cuadrado de tela blanca (manta) de 70 cm por lado, sostenida por dos varillas de madera o aluminio en forma de cruz, que se encajan en las esquinas de la manta (figura 6). Este rectángulo o “paraguas” se coloca bajo la vegetación arbustiva, mientras que con una vara o bastón se golpea la vegetación. Los insectos que hubieran estado posados, caerán sobre la tela y son recolectados con pinzas o un aspirador. Se utiliza principalmente para chinches y escarabajos.

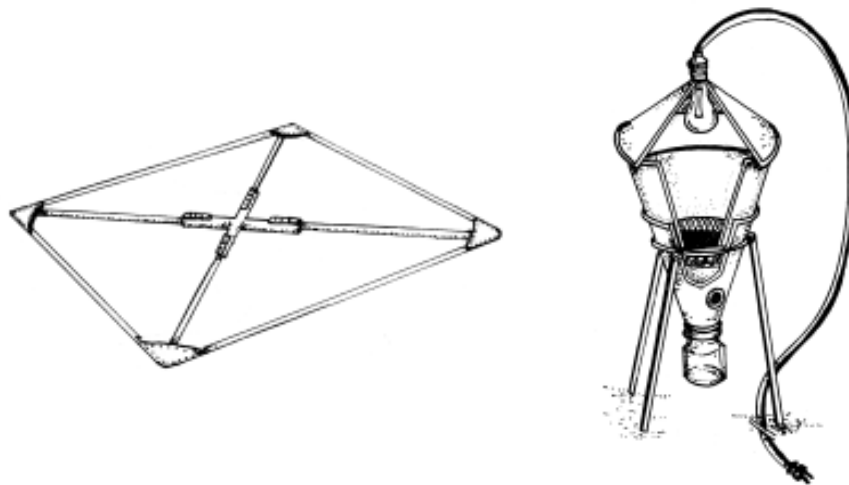
Malla cernidora

Se utiliza para separar macrofauna asociada o escondida entre las partículas del suelo, aserrín, hojarasca o semillas. Por lo general consiste en un bastidor metálico o de madera (1 m² por lo general) sobre el cual se coloca una cantidad conocida de sustrato y que se hace pasar por movimiento por el tamiz.

Embudo de Berlese

Se usa para extraer micro o macrofauna de muestras de suelo, hojarasca, musgos, líquenes y desperdicios de nidos (v.gr. hormigas y termitas), así como para la extracción de insectos de muestras tomadas con otros aparatos que contengan cualquiera de los elementos mencionados. Consiste en un embudo de tamaño variable que se construye de cartulina, plástico o metal con una lámpara en el extremo superior (el borde más ancho) en el que se deposita la muestra y un frasco colector con alcohol al 75% en la base del embudo (figura 7). Los insectos asociados se extraen por efecto de la desecación lenta y gradual de los estratos superficiales de la muestra, de modo que los insectos al retirarse hacia los estratos de la muestra en la base del embudo que aún conserva mayor humedad y menor temperatura, terminan cayendo por el cuello del embudo hasta el frasco colector.

Figura 6



Paraguas entomológico

Cuadro 1

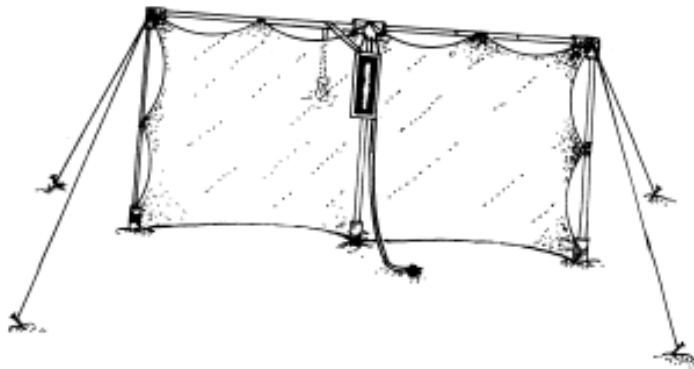
Tipo de métodos (principio)	Métodos y herramientas	Observaciones
Métodos directos	Red aérea	Insectos voladores; en reposo sobre plantas
	Red acuática	Insectos acuáticos (en sus distintas etapas de desarrollo)
	Separación manual directa	Insectos edáficos, asociados con cortezas
	Capturadores; pinceles, pinzas, frascos y tubos.	Insectos pequeños, malos voladores
Métodos indirectos		
<i>Acción mecánica o física generalizada sobre un substrato en la que es posible encontrar una especie</i>	Red de golpeo	Insectos malos voladores
	Paraguas entomológico	Insectos malos voladores
	Malla cernidora	Insectos edáficos
	Embudo de Berlese	Insectos edáficos
	Barrera tamiz de malla o red de corriente	Insectos acuáticos (en sus distintas etapas de desarrollo)
<i>Aprovechamiento de atrayentes visuales u olfativos que puedan estimular al insecto a grandes distancias</i>	Caladores , pipetas y goteros	Insectos acuáticos (en sus distintas etapas de desarrollo)
	Trampas de luz: de pantalla y embudo	Insectos nocturnos, voladores activos, de tamaños variable (pequeño a grande)
	Trampas de color: pegajosa o de agua	Insectos por lo general voladores activos
	Trampa con cebos: • origen animal, desechos orgánicos: NTP-80 • frutas, desechos orgánicos: trampas cilíndricas • sangre humana o animal: Shanon	Necrotrampas (necrófagos); Coprotrampa (coprófagos); Carpotrampa (frugívoros); Coprotrampa (coprófagos) Hematófagos
	Trampas con atrayentes volátiles: Mc Phail; Delta o Jackson	Feromonas, derivados fenólicos o alcohólicos
<i>La probabilidad aleatoria que tiene un organismo de cruzar por una o varias trampas pasivas</i>	Trampa "Pit fall" o de pozo seco	Insectos caminadores
	Trampa de barrera	Insectos voladores activos
	Trampa Malaise	Insectos voladores activos

Principales métodos para la captura y recolección de insectos y observaciones generales.

Barrera de tamiz de malla o red de corriente

Es una variante de la red acuática que se utiliza principalmente en ríos. Consta de una malla de plástico cuadrada o rectangular (1-1.5 m²) sujeta en cada extremo a postes de madera o aluminio de 1.2 m. Esta red se coloca contra corriente sosteniéndola por dos personas o enterrando los extremos de los postes en el substrato.

Figura 8



Trampa tipo cortina o de pantalla.

Caladores, pipetas y goteros

Se utilizan para la recolecta de insectos acuáticos en sus distintas etapas de desarrollo. Los caladores o cucharones se usan para capturar insectos cerca o en la superficie de agua estancada. Estos se sumergen rápidamente en el agua y los organismos atrapados se recogen dependiendo de su tamaño con una pipeta o gotero. Estas herramientas son útiles en caso de insectos acuáticos frágiles que se dañarían al ser recolectados con pinzas o redes.

Métodos basados en el aprovechamiento de atrayentes visuales u olfativos que puedan estimular al insecto a grandes distancias

Las trampas de luz se basan en la reacción locomotora helíptica o unidireccional de un insecto⁴, iniciada por la intensidad y longitud de onda de un estímulo lumínico (fototropismo positivo).

⁴ Este comportamiento es común en los insectos adultos de hábitos nocturnos.

Trampa tipo pantalla, cortina o pared de manta

El diseño consiste en una manta de 2 x 2 m. (o 3 X 2 cuando más) sostenida en sus extremos o con cordones a ramas, postes o a un armazón de tubos de aluminio desarmable (figura 8). Esta trampa emplea como fuente de energía una lámpara de luz fluorescente blanca o ultravioleta o luz de vapor de mercurio, por separado o combinadas, de acuerdo con los objetivos de la colecta. La cantidad de wats empleados tendrá importancia sobre la efectividad de la trampa sobre todo en el radio de acción de la misma. La potencia promedio recomendable es de 80 wats para la luz fluorescente y de 160-175 wats para la luz de vapor de mercurio.

Usualmente se monta verticalmente (paralelo a la vegetación y con las lámparas colgando en la parte media superior). Los insectos se posan en la manta atraídos por la luz y son colectados directamente con aspiradores o tubos de colecta. Puede utilizarse sólo una lámpara, y revisar periódicamente la parte no iluminada con una linterna de mano para recolectar insectos que se hayan posado. La disposición de la trampa es importante ya que funciona mejor ubicándola con cierta elevación con respecto al resto del área y de preferencia en un claro, en un barranco o en una ladera de monte. Las mejores colectas se hacen generalmente en noches sin luna. Con esta trampa podemos recolectar adultos de tamaños variable (grandes y pequeños) de casi todos los órdenes de insectos; sin embargo es común que sean utilizadas en la recolecta de mariposas, escarabajos, chinches y moscas.

Trampa de embudo

Esta trampa tiene muchas modificaciones, pero el diseño general consiste en un embudo con una fuente de luz en su borde superior que está conectado a un frasco colector en la base (figura 9). Estas trampas por lo general son utilizadas para atraer y atrapar insectos pequeños. Una de las modificaciones más conocidas y usadas es la trampa New Jersey (figura 9), diseñada originalmente para colectar mosquitos, combina la luz de una lámpara, que hace que los insectos se acerquen y la fuerza de succión de un ventilador. Esta trampa funciona en general para voladores débiles, y con una lámpara de luz ultravioleta pueden colectarse otro tipo de pequeños insectos, además de mosquitos. Un modelo pequeño basado en el mismo principio, pero portátil (a base de baterías) es la trampa CDC⁵.

⁵ Siglas en inglés para el Centro para el Control de Enfermedades.

Las trampas de color tienen varios diseños, pero la mayoría son en forma de cilindros, cajas o platos. El color más utilizado es blanco o amarillo con un tamaño que varía de acuerdo con los objetivos de la recolecta. Estas trampas requieren de un componente o substrato que retenga a los insectos que hayan sido atraídos que por lo general es un material adhesivo (trampas pegajosas) o agua (trampas de agua).

Trampa pegajosa

Esta es una derivación del papel matamoscas. Los insectos se fijan en la superficie adhesiva y son retenidos. Puede utilizarse una gran variedad de adhesivos normalmente se utilizan resinas y grasas. Para insectos muy pequeños se utiliza también el aceite de castor. Los insectos capturados son separados calentando ligeramente la resina y luego remojando insectos y resto de resina en un disolvente orgánico como el tricloroetileno. La separación en el caso de las grasas es más sencillo, una mezcla de benceno y alcohol isopropílico disuelve rápidamente estos adhesivos. Por tanto, es recomendable, en lo posible, utilizar grasas. Las grasas funcionan particularmente bien sobre todo para la recolección específica de insectos pequeños y puede ser considerada más eficiente ya que el área efectiva de la trampa no se reduce al no caer insectos mayores en este adhesivo. Hay que tener en cuenta que en climas cálidos la grasa puede tornarse muy fluida. Para el caso de insectos más fuertes es por tanto, recomendable un adhesivo fuerte, como las resinas. Estas trampas requieren de poca atención; sin embargo, los insectos atrapados quedan en muy malas condiciones para su determinación, por lo que son recomendables para estudios de abundancia de especies y no para estudios faunísticos.

Trampa de agua

Estas son muy económicas, fáciles de hacer y atrapan a la mayoría de las familias voladoras de insectos. Son excelentes para moscas, avispas, chicharritas y otros visitantes de plantas y flores. Son simplemente tazones o charolas de plástico llenas de agua con un poco de detergente que hace que se rompa la tensión superficial y se incremente la colecta por ende. Al agua se le añade un preservativo que es por lo general formalina (1-2 mL) o sal de mesa común. Aunque estas trampas al igual que las trampas pegajosas se idearon aplicando el principio de interceptación, se ha observado que la efectividad, magnitud y calidad de captura

está influenciada por el color de la trampa. El color más utilizado es el amarillo; sin embargo otros colores han demostrado actuar específicamente sobre ciertos grupos de insectos, cuestión que hay que tener en cuenta y que puede afectar su eficiencia.

Estas trampas tienen ciertas ventajas sobre las trampas pegajosas, ya que los insectos atrapados quedan en buen estado para su determinación y la muestra es fácilmente separable, aunque requieren de mayor atención, ya que días lluviosos pueden rebosar o en caso contrario quedar vacías en la época seca. Las trampas deben ser revisadas una vez por semana para recoger el material y renovar la cantidad del agua. Los insectos pueden ser retirados con pinzas, pipetas o incluso filtrados para reutilizar el agua y depositados en recipientes con alcohol al 75% u 80%. Esta trampa puede colocarse en un lugar visible para los insectos o en alrededores de vuelo.

Trampas con atrayentes

Las trampas con atrayentes volátiles naturales o artificiales son útiles para capturar un gran número de insectos que son atraídos por el aroma de sustancias frescas o en descomposición⁶.

El atrayente puede ser de origen natural (animal o vegetal⁷) o artificial.

Los más utilizados son:

- a. De origen animal, para insectos que se alimentan en cadáveres (necrotrampa).
- b. De desechos orgánicos animales para los insectos que se alimentan de excremento (coprotrampa).
- c. De origen vegetal, para insectos que se alimentan de frutas o compuestos azucarados (carpotrampa).
- d. De sangre humana o animal para insectos hematófagos (cebo humano o animal).
- e. Compuestos volátiles naturales o artificiales: metabólicos (feromonas, dióxido de carbono) o químicos volátiles (derivados fenólicos y alcohólicos).

Independientemente del atrayente utilizado estas trampas pueden ser permanentes o temporales.

⁶ A estos atrayentes también se les conoce comúnmente como cebos.

⁷ En ocasiones puede ser el propio animal o planta.

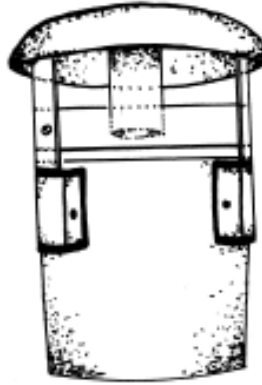
Necrotrampa permanente (NTP-80)

Esta trampa (Figura 10) está compuesta por cuatro piezas de plástico ensambladas:

- a. un recipiente colector plástico de 1.5 L al que se agrega un líquido preservador (comúnmente alcohol etílico al 70%);
- b. un embudo plástico recortado con dimensiones de 13 y 14 cm de diámetro superior e inferior, respectivamente, que tapa parcialmente el bote reduciendo la superficie de evaporación del líquido y que a su vez conduce al insecto hacia el interior del bote colector, evitando que salga;
- c. un plato de plástico sopero invertido de 21 cm de diámetro que está atornillado a tres soportes metálicos sujetos a la pared del bote colector y que también funciona como tapa para evitar la entrada de agua de lluvia;
- d. un recipiente de 6 cm ensamblada de diámetro, por 7 cm de altura con perforaciones en el cual se pone el atrayente que puede ser pescado, marisco, carne roja o excremento humano o animal.

Esta trampa es la más resistente de todas las copro y necrotrampas. Esta trampa puede colgarse de la vegetación o enterrarse y puede permanecer entre 115 días hasta varios meses, requiriéndose únicamente revisiones periódicas para retirar el material o agregar más preservador o atrayente.

Figura 10



Necrotrampa permanente (NTP-80)

Trampa cilíndrica

Consiste también en un cilindro de malla de “nylon”, con un extremo cerrado, que tiene un diámetro 35-50 cm y un largo 70-80 cm (Figura 11). Fijo al extremo abierto, dejando una ventana de 8 cm se coloca una tabla del mismo diámetro que el cilindro, suspendida por hilos. Sobre la tabla se colocará un plato con fruta fermentada, calamar o pescado en descomposición o excremento (cebo)⁸. La tapa se tapa con un círculo de plástico transparente. Al colocarse la trampa en un lugar soleado y donde no sople mucho viento, pronto atrae muchos insectos que penetran en su interior. Después de algún tiempo, cuando la cantidad de ejemplares es razonable, se retira el cebo y se recogen los insectos. Esta trampa tiene la ventaja de que al estar sostenida por una cuerda puede ser colocada a cualquier altura.

Figura 11



Trampa tipo Rydon Van Someren para mariposas

Trampa Shannon

Esta trampa ejemplifica la atracción con cebos animales vivientes para los insectos hematófagos como mosquitos, tábanos, chaquistes y papalotillas. El tipo simplificado es una caja grande de tela, suspendida por cordones cosidos en sus cuatro esquinas y que puede ser amarrado a los árboles o cualquier otro soporte a una altura, que será la entrada de medio metro con respecto del suelo. El lugar debe de limpiarse de troncos, maleza, espinas, etc. Los insectos entran espontá-

⁸ Existen muchas modificaciones a esta trampa. Las modificaciones están dadas en cuanto al tamaño y altura a la que se coloca. Una modificación es la trampa tipo Van Someren, que fue creada para recolectar mariposas y que ha funcionado también para moscas.

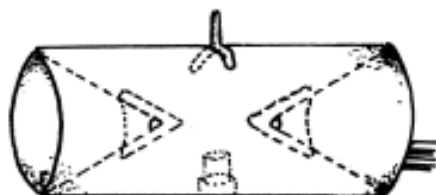
neamente atraídos por el cebo (pueden ser excretas de roedores, lagomorfos, equinos o humanos) y son recolectados en el frasco de captura o por medio del aspirador. El material para su confección más adecuado es de tela de “nylon”, aunque puede utilizarse manta. La primera opción hace que sea ligera, se doble fácilmente, ocupe poco volumen para su transporte y en caso de mojarse seque rápido. Sin embargo, se rasga con facilidad.

Figura 12



Trampa Mc Phail para moscas de la fruta.

Figura 13



Trampa Steiner para moscas.

Trampas con atrayentes volátiles

Por lo general estas trampas funcionan con atrayentes en forma de pastillas o soluciones retenidas en material absorbente. Entre algunos ejemplos tenemos las trampas para la recolecta y vigilancia de moscas de la fruta (Familia Tephritidae): trampa Portici o Mc Phail, que es una botella de vidrio con el fondo invaginado y un orificio hacia el centro (Figura 12), en la que se coloca un atrayente químico biológico de tipo alimenticio (vinagre con melaza, levadura de cerveza o proteína

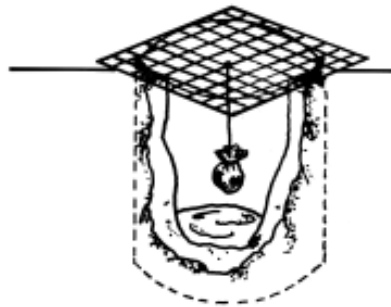
hidrolizada). Es posible también encontrarlas de material plástico; trampa tipo Steiner, que es un cilindro de plástico con dos tapas a manera de bases con una parte libre y otra cubierta con tela de malla (figura 13). En su interior se coloca una mecha de algodón impregnada con un atrayente químico de tipo sexual (Trimedlure). Se añade además, una mezcla de Lindano-Clordano como insecticida (en polvo) y trampa delta o Jackson, que es un triángulo de cartulina, con una laminilla de cartón insertada que está barnizada con una sustancia adhesiva y atrayente químico (Trimedlure al 5%).

Trampas pasivas

Trampa "Pit-fall" o de pozo seco

Consiste en un bote plástico con perforaciones pequeñas en el fondo (para evitar que se acumule el agua), el cual se entierra en el suelo hasta que el borde superior quede al mismo nivel del piso, de tal forma que los insectos caminadores como escarabajos u hormigas, caigan al azar durante sus recorridos (Figura 14).

Figura 14



Trampa tipo Pit-fall o de pozo seco.

Trampa de barrera

Consiste en una lámina de plástico translúcido de 3 a 6 m de longitud por uno o dos metros de ancho, sostenida por postes o cables, con uno de sus lados en contacto con el piso. Con el mismo plástico se construyen dos canales, uno a cada lado de la lámina, que se llenan con agua y detergente, en los cuales quedan retenidos los

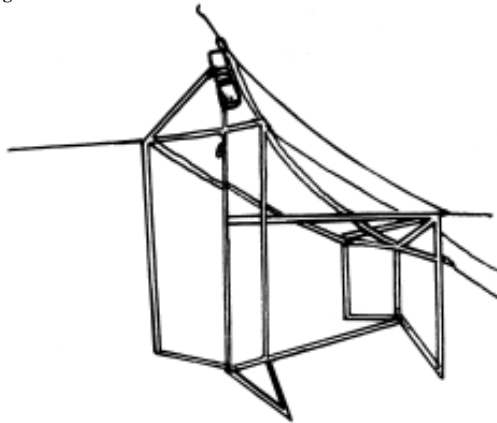
insectos que chocan contra la barrera y caen durante su vuelo. Es útil para escarabajos y chinches.

Trampa Malaise

Esta trampa es la más utilizada para la captura de insectos voladores. El principio de su funcionamiento es el siguiente: es una pantalla vertical de malla negra que se coloca en un corredor de vuelo, cuyos extremos laterales impiden el escape de los insectos, que suben por la malla y son guiadas hacia la cámara colectora (Figura 15). Es importante tener en cuenta el color y la forma ya que se ha observado que aún estos dos factores influyen en la captura. Algunas de sus desventajas son el costo y el tiempo de confección si se pretende su construcción. La cámara de colecta está construida por dos recipientes de plástico con tapa de rosca abiertas en el centro y pegadas, los insectos pueden ser colectados en alcohol o matados con cianuro en el bote colector. En la entrada es posible colocar una malla que evite la entrada de insectos más grandes como abejorros, escarabajos y mariposas que pueden dañar a los especímenes más frágiles.

La ubicación correcta de la trampa es muy importante. Las áreas protegidas son las mejores y en ellas la trampa se coloca atravesada en las vías de vuelo de los insectos como caminos, brechas, márgenes de la vegetación. El extremo de la trampa donde se halla el colector debe de colocarse donde recibe la mayor cantidad de luz, hacia la parte más despejada o donde la vegetación sea menos densa.

Figura 15



Trampa Malaise

Figura 16



Cámara letal

Técnicas de preservación

Cámaras letales o tubos de captura. Si el insecto será preservado después de su captura, primero es necesario matarlo de una manera en la que no se maltrate. Se pueden utilizar recipientes de vidrio de varios volúmenes, de acuerdo al tamaño y forma de los insectos; sin embargo, para fines prácticos en el campo, funcionan perfectamente tubos de 3-5 cm de diámetro y 12-15 cm de largo con tapa de corcho o goma que cierre perfectamente a presión y con un fondo plano. Es también conveniente que independientemente del agente utilizado, se cubran los extremos con cinta adhesiva como protección en el caso de una ruptura por un golpe accidental.

El agente letal varía de acuerdo a preferencias personales. Algunas personas prefieren cianuro de potasio, en forma de sal debido a que las cámaras actúan con gran rapidez y su efecto es más prolongado a través del tiempo. El tubo de cianuro debe construirse de la siguiente manera: en el fondo se coloca una capa de algodón, después el cianuro, enseguida una cierta cantidad de yeso de dentista. Se golpea ligeramente el tubo sobre un soporte para asentar el yeso, se cierra y se deja secar. Después de secarse completamente, se limpian las paredes del recipiente del exceso del yeso y se cubre con una pieza de plastazote o papel secante o filtro. Otra opción es colocar directamente la sal en el fondo y colocar sobre esta, una o dos piezas de plastazote.

Actualmente, la mayoría de entomólogos utilizan acetato de etilo o cloroformo, aunque son muy volátiles y su efecto es menor que en el caso de las confeccionadas con cianuro. Sin embargo son más seguras y para recargar las cámaras basta con llevar un frasco gotero al campo. Para confeccionar una cámara letal con cualquiera de estas sustancias, se coloca en el fondo del recipiente de cristal que funcionará como cámara, trocitos de liga o corcho, aserrín, o algodón que se empapan cada vez que se requiera. El líquido se evapora continuamente, formándose en el interior del tubo una atmósfera saturada que mata a los insectos. Sobre este fondo se dispone una pequeña rueda de corcho donde se practican algunas muescas laterales o piezas de plastazote al igual que en el caso de las de cianuro. Es recomendable perforar ligeramente las piezas para así poder permitir la salida de los gases de cualquiera de los agentes letales seleccionados. Por encima del corcho o plastazote se pone un círculo de papel filtro que sirve para absorber las deyecciones de los insectos o el exceso del líquido usado en el interior del tubo (figura 16). Otro agente también utilizado es el éter.

Frascos viales. Los frascos de boca ancha de 100a 200 mL con tapa de plástico, vacíos o con alcohol al 75% y una variedad de tubitos con tapón de corcho, de plástico o baquelita son indispensables.

Etiquetado. Uno de los procesos básicos para el muestreo y recolección de cualquier organismo es el etiquetado. Por lo general, cada muestra debe de tener los datos mínimos que se mencionan a continuación:

- País, estado, municipio, localidad o ubicación exacta
- Fecha
- Ambiente: criadero, habitat, trampa, horario, tipo de cebo
- Colector

Las etiquetas deben de hacerse en papel de algodón (papel vegetal) con tinta indeleble al alcohol, con tinta china o lápiz de taquigrafía. Estas etiquetas se colocan en las muestras con alcohol o en seco. Cada una de las muestras deberá de llevar una etiqueta individual. Es recomendable también llevar un registro en una libreta o bitácora de campo. Desde que se generalizó el uso de impresoras laser o de chorro de tinta, en muchas colecciones el material se rotula con etiquetas elaboradas por computadora. Cuando se opte por esta alternativa se recomienda utilizar papel opalina para impresora laser y elaborar las etiquetas en letras de 4-5 puntos, utilizando algún tipo de letra sencillo (v.g. Courier) Ejemplos:

MEXICO, Yucatán, Hda. San Felipe, km 24 Carr. Mérida-Tizimín. 12-13/V/97 Selva baja caducifolia Trampa Malaise Col. M. Aburto y L. López	MEXICO, Yucatán, Rancho El Oasis, 84° 43' / 21° 12'. Peten, Selva mediana subperennifolia 23/VII/95 Cebo humano. 19:44 hrs Col. J.E. Colosio
---	---

Referencias

- Andrewartha H. G. 1973. Introducción al estudio de poblaciones animales. Alhambra. Madrid, España.
- Barfield C.S. 1989. El muestreo en el manejo integrado de plagas. In: Andrews K. L. y Quezada J. R. (Eds.). Manejo integrado de plagas insectiles en la agricultura: Estado actual y futuro. Departamento de Protección Vegetal. Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano, Honduras. Capítulo 9.
- Calabuig E. L. 1988. Métodos cuantitativos en los estudios entomológicos. En: Barrientos J. A. (Coord.). Bases para un curso práctico de entomología. Asociación española de Entomología, Barcelona, España. Capítulo 4.
- Carballo V. M. s/f. Técnicas e instrumentos para muestrear insectos. Documento interno, Departamento de Protección Vegetal. Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano, Honduras.

- Kuno E. 1991. Sampling and analysis of insect populations. *Annu. Rev. Entomol.*, 36:285-304.
- Marcos-García M. A. 1988. Métodos generales de captura. In: Barrientos J. A. (Coord.). Bases para un curso práctico de entomología. Asociación española de Entomología, Barcelona, España. Capítulo 2.
- Martin J. E. H. (Comp.). 1977. The insects and arachnids of Canada. Part 1, Collecting, preparing, and preserving insects, mites, and spiders. Agriculture Canada, publication 1643.
- Morón M. A. y Terrón R. A. 1988. Entomología práctica. Instituto de Ecología, A. C. México.
- Morris R. F. 1963. Sampling insect populations. *Annu. Rev. Entomol.*, 5:243-264.
- Muirhead-Thompson R. C. 1991. Trap responses of flying insects. The influence of trap design on capture efficiency. Academic Press. Gran Bretaña.
- Pianka E. R. 1978. Evolutionary ecology. Harper & Row, EUA.
- Peterson A. 1964. Entomological techniques. How to work with insects. Entomological reprints specialists, EUA.
- Ruesink W. G. y Kogan M. 1990. Bases cuantitativas del manejo de plagas: muestreo y medición. In: Metcalf R. L. y Luckmann W. H. (Eds.). Introducción al manejo de plagas de insectos. LIMUSA-Noriega, México. Capítulo 9.
- Southwood T. R. E. 1978. Ecological methods with particular references to the study of insect populations. Methuen, Londres, Inglaterra.
- Stevens G. C. 1989. The latitudinal gradient in geographical range: How so many species coexist in the tropics. *Amer. Natur.*, 133 (2):240-256.
- Papavero N. y Vanzolini P. E. 1990. Manual de recolección y preparación de animales. UNAM, México.
- Pedigo L. T. y Buntin G. D. (Eds.). 1993. Handbook of sampling methods for arthropods in agriculture. CRC Press, EUA.

9

AVES Y MAMIFEROS

Celia I. Sélem-Salas*, Javier Sosa-Escalante y Silvia Hernández Betancourt

Introducción

El manejo de los recursos naturales requiere del conocimiento profundo de la riqueza biológica, así como de las condiciones en que se encuentran las poblaciones que constituyen los ecosistemas, para poder lograr una productividad razonable que permita la explotación de las especies útiles al hombre. Se requiere de la preservación de los acervos genéticos como banco fundamental de la biodiversidad. Es por eso que la conservación de los recursos naturales ha adquirido en los últimos años una importancia trascendental, que se ha convertido en una carrera contra el tiempo, si se considera el acelerado ritmo de destrucción que estos han sufrido en las últimas décadas por múltiples causas. Es necesario estar conscientes que en la conservación de los recursos naturales se finca el desarrollo de las generaciones futuras.

El manejo de la biodiversidad en México presenta problemas, que van desde la disminución drástica de las especies hasta la extinción de algunas de ellas, debido a la práctica exhaustiva de algunas actividades como: Ganadería, agricultura, deforestación, erosión del suelo, incendios sin control provocados por el hombre, contaminación, urbanización, tenencia de la tierra, comercio ilegal de flora y fauna, pérdida de etnias y su conocimiento sobre la naturaleza, además de los problemas políticos y sociales de cada región, agravan el conflicto ambiental y el uso de los recursos.

Los vertebrados mexicanos acuáticos y terrestres, son un grupo muy diverso que en especies está representado aproximadamente por un 10% de las especies a

¹² Departamento de Zoología, FMVZ, Universidad Autónoma de Yucatán.

nivel mundial. Los vertebrados terrestres presentan un alto porcentaje de endemismos entre las especies de anfibios, reptiles y mamíferos (61%, 53% y 30% respectivamente), como consecuencia de la variación climática y microambiental que se presenta en el país. Las aves son un grupo muy diverso (9000 especies), constituido por aves residentes y migratorias. Esto se debe a la ubicación geográfica del país, que sirve como puente entre Norte y Sudamérica y a las amplias zonas costeras y montañosas del país que son usadas como áreas de refugio alimentación y reproducción. Las Aves y los mamíferos históricamente han sido los grupos más manejados y explotados, y sus hábitats han sido dramáticamente desbastados, por lo tanto algunas especies se encuentran amenazadas o en peligro de extinción. Es preocupante que el 40% (aproximadamente 200 especies) de las especies de mamíferos se encuentran en peligro de extinción.

Es evidente que los conservacionistas y el manejadores de recursos deben conocer la diversidad y el que estado en que se encuentran las poblaciones, para poder tomar decisiones acerca de la explotación o los protección que se pueden aplicar. Para tener este conocimiento es necesario realizar muestreos poblacionales, que reflejen por medio de índices el estado real de la población ya que es muy difícil realizar censos. Es necesario conocer las características físicas y parámetros biológicos tales como el patrón de actividad diaria y estacional. Las aves y mamíferos pueden ser estudiados por técnicas de observación directa o indirecta, la evaluación numérica requiere de la concepción de unidades numéricas, que pueden ser unidades de tiempo y área para las aves o de área y desplazamiento lineal para mamíferos. Las aves pueden ser detectadas pos cantos, nidos, huevos, cascarones, desde el suelo hasta altos doceles en los árboles y desde la costa hasta lo alto de las montañas y los mamíferos pueden reconocerse por medio de huellas, excretas, pelos dientes, madrigueras y principalmente en hábitats terrestres.

En este capítulo se presentan las principales técnicas de estudio para estos dos importantes grupos de vertebrados, como son las aves y los mamíferos. En forma secuencial se presentan algunas consideraciones para la elaboración de la estrategia de muestreo, las técnicas de muestreo directo (observación y captura) e indirecta y los procedimientos para el marcaje de individuos.

Elaboración de la estrategia de muestreo

Antes de realizar cualquier estudio, es necesario que se definan claramente los objetivos, a través de los cuales se realizará la planeación y ejecución del trabajo de campo. Es necesaria una estimación del financiamiento requerido para llevar

al cabo el trabajo y la planeación del muestreo, ya que el presupuesto variará de acuerdo al área a estudiar, los métodos a utilizar y la duración del proyecto.

La planeación de un estudio debe considerar tres etapas. En la primera, el investigador define la amplitud del trabajo en términos de las especies seleccionadas para el estudio. La selección dependerá de los objetivos, el tiempo de duración del estudio y el dinero disponible para los muestreos, así como en las características del área, particularmente su tamaño. En esta etapa, también es recomendable realizar una revisión extensiva de la información existente sobre las especies a trabajar.

En la segunda etapa, se seleccionan las técnicas más apropiadas para estudiar a las especies o poblaciones. La selección de la técnica de muestreo depende de los factores antes mencionados y otras variables, para lo que el investigador debe apoyarse en la revisión de literatura antes efectuada sobre las especies, los métodos y el área a trabajar se han hecho. La tercera etapa involucra la integración de la teoría y la práctica, adecuando las técnicas seleccionadas al área y a las especies a estudiar.

Habiendo adquirido el equipo y material necesario y organizado al personal involucrado en el estudio, es recomendable realizar inspecciones o muestreos preliminares para adecuar los métodos que se emplearán, ubicar los puntos a muestrear, e identificar los posibles obstáculos que limiten la ejecución de los muestreos y la toma de datos. Asimismo, es recomendable identificar los sitios de establecimiento del personal (campamentos, acceso a las instalaciones de las áreas protegidas, etc.). Realizado lo anterior, el investigador podrá iniciar formalmente su trabajo de campo.

Definición de objetivos

El principal objetivo del muestreo de aves y mamíferos es estimar la riqueza de especies (el número de las especies presentes) y la abundancia de la(s) especies (el número de individuos de cada especie) dentro de un área en particular. Pero la información obtenida también es necesaria para cumplir otra serie de objetivos, como son aquellos que pretenden comparar la biodiversidad entre diferentes áreas y justificar el establecimiento de un área protegida, o la conservación y manejo de poblaciones de especies.

La planeación debe considerar si es necesaria la conservación y preservación de ejemplares de colección, ya que muchas especies no son fácilmente identificables en el campo, siendo indispensable la determinación a través de un examen detallado de los ejemplares recolectados, los cuales podrán incluso ser utilizados para estudios de sistemática y taxonomía.

Definición de los límites del muestreo

Lista de especies

El primer paso para preparar un muestreo, consiste en realizar una revisión de los trabajos que se han llevado al cabo en el área o en sitios cercanos a ella. La información obtenida es usada para desarrollar una lista preliminar de las especies que se pueden encontrar en el sitio de estudio. Dichas listas son importantes para definir los límites del muestreo, aunque no deben considerarse completas, ya que el investigador debe anticipar la posible aparición de nuevas especies, especialmente cuando las áreas son tropicales. De manera opcional, el investigador puede llevar al cabo un muestreo preliminar o prospectivo para obtener una lista de especies. De hecho, los muestreos preliminares son recomendables, a menos que se cuente con suficiente información del área. Estos muestreos deben ser cortos y rápidos, planeados bajo un cuidadoso diseño del muestreo.

Selección de las especies a estudiar

Con la lista preliminar, el investigador puede seleccionar la especie, población o comunidad, que incluirá en sus muestreos. El financiamiento y el tiempo, aunado con las características del área, limitan el número y las especies a estudiar.

Las especies pueden ser seleccionadas con base en su abundancia relativa, o a la representatividad de los diferentes órdenes de aves o mamíferos. Asimismo, pueden ser seleccionadas por su tamaño, por los sonidos o vocalizaciones que emiten, por los rastros que dejan en el hábitat u otras características que faciliten la detección de la especie en el área. La selección de las especies puede incluso ser producto de algún interés específico, tales como aquellos que se relacionan con las colecciones, para estudios taxonómicos más detallados, o con la conservación. En este último caso, es posible seleccionar especies sobre las que se hipotetiza que sus poblaciones están disminuyendo o aumentando, o bien, especies que son consideradas como plagas o tienen alguna importancia económica.

Selección de las técnicas de campo

Existen diversas técnicas de campo que pueden ser aplicadas para estimar la densidad y abundancia de una especie o para medir la riqueza de especies de aves y mamíferos existente en un área. De forma general, estas técnicas pueden ser

clasificadas como: técnicas de observación directa, técnicas de observación indirecta y técnicas de captura-recaptura.

Adecuación

A pesar que las técnicas pueden ser aplicadas para diferentes especies y condiciones, éstas son seleccionadas con base en su eficiencia y adecuación con respecto a la especie o especies a estudiar, así como con la información requerida para lograr los objetivos previamente planteados. Por ejemplo, técnicas de observación directa e indirecta permiten obtener datos para estimar la abundancia de algunas especies. Sin embargo, si la primera aporta datos más confiables, la selección debe inclinarse hacia esta técnica. Si es posible, se recomienda la aplicación de ambas técnicas para poder realizar comparaciones.

Características físicas y comportamiento de las especies

Para la selección correcta de la técnica que se empleará, debe tenerse un buen conocimiento de las características físicas y de la biología de las especies a estudiar, tales como es el patrón de actividad diaria y estacional. Para especies de hábitos diurnos, las técnicas de observación directa pueden ser una buena opción, lo que para aquellas de hábitos nocturnos, estas técnicas requieren de equipo adicional o de la aplicación de técnicas de captura y de registro indirecto.

Tamaño del área de muestreo

La extensión del área es un factor determinante en la selección de las técnicas de muestreo. Por ejemplo, si la especie habita en un área relativamente pequeña, es posible cubrir el sitio en su totalidad. Si la especie habita en un área muy grande, se requiere un muestreo espacial. Este consiste en el establecimiento de unidades de muestreo dentro del área total.

La estimación global se basa en las estimaciones obtenidas en cada una de esas unidades. El tamaño del área puede incluso ser determinante en la selección de los métodos de muestreo. Por ejemplo, cuando el tipo de vegetación permite una adecuada visibilidad, los muestreos aéreos constituyen un método útil para áreas grandes y cuando la especie de estudio es fácilmente identificable.

Hábitat y clima

Características del medio donde habita la especie pueden influir en la selección de las técnicas de campo. Por ejemplo, la densidad de la vegetación y el grado de heterogeneidad espacial pueden afectar las observaciones directas de los animales. El grado de nubosidad, niebla, lluvia y viento, pueden también influir negativamente en observaciones aéreas.

Personal y tiempo

El arreglo de las técnicas de campo disponibles para un muestreo se incrementará con el número de personas involucradas en la investigación. La experiencia del personal puede aumentar la eficiencia de las técnicas de campo. Personas que viven o dependen de alguna manera del área de estudio, facilitan el trabajo de campo.

Es recomendable que las técnicas seleccionadas sean repetidas, con el fin de obtener estimados confiables de la riqueza y abundancia de especies. Sin embargo, en ocasiones es prácticamente imposible aplicar las técnicas de forma repetida. Como alternativa, se pueden seleccionar técnicas que provean datos para la obtención de índices de abundancia o limiten el número de especies a estudiar.

Financiamiento y equipo

El fondo requerido para un muestreo influye en forma determinante en la selección de las técnicas de campo. Por ejemplo, los altos costos de las trampas o del equipo electrónico necesario para muchas de las técnicas de campo, pueden limitar su aplicación. Una buena selección, debe invariablemente considerar el equipo con el que se cuenta y el financiamiento necesario para adquirir el faltante.

Integración de la teoría con la práctica

Después de haber concluido las dos primeras etapas de la planeación, el investigador debe decidir cuál de las técnicas y que tipo de muestreo seleccionará considerando las condiciones del área. Algunas de las sugerencias a considerar para adecuar la técnica al área de estudio son: uso de mapas, fotografías aéreas, imágenes de satélite, mediciones de la unidad de muestreo, selección de las unidades de manera aleatoria y selección de puntos aleatorios.

Técnicas de observación directa

El tamaño de la población estudiada junto con el tamaño del área de muestreo y la distribución de las especies permite obtener dos mediciones: 1) la abundancia total o relativa, que se refiere al número de organismos registrados y 2) densidad cruda y ecológica, que se refiere al número de individuos de una especie por unidad de área de todo el sitio de estudio, y al número de individuos de una especie por unidad de área del hábitat que es utilizado por la especie, respectivamente. La estimación de la densidad ecológica es la adecuada, especialmente en áreas de muestreo donde las especies pueden ocupar únicamente ciertos tipos de hábitats.

La densidad y la abundancia (absolutas o relativas) pueden estimarse a partir de muestreos, a lo largo de diferentes escalas temporales o espaciales, para poder así ser comparadas con respecto a otras especies en el mismo o diferentes sitios, y al mismo o diferentes tiempos. Al comparar dos o más estimaciones, es importante considerar que los valores obtenidos sean potencialmente comparables, tanto con respecto al tamaño del área, esfuerzo invertido en la toma de datos y la técnica empleada para los muestreos.

Las técnicas de observación permiten realizar censos o conteos del total de individuos que se encuentran en el sitio de estudio, o definiendo muestras dentro del área total, siempre y cuando el total del área o la muestra sea cubierta, que todos los animales sean localizados, y que éstos sean contados con exactitud. Sin embargo, el cumplir con los requerimientos antes mencionados, o al menos estar seguro de haberlos cumplido, no siempre es factible, ya que aunque la búsqueda de los individuos sea intensa en toda el área, existe la posibilidad de que algún individuo no sea observado.

Métodos de conducción

Se puede obtener el total de los individuos en todo el área o puede ser estimada a través de muestreos. Esta técnica consiste en ahuyentar o provocar a los animales para correr o volar, y conducir su huida a un sitio definido previamente para facilitar el conteo. Esta técnica es la más apropiada para especies de hábitos diurnos, de tamaño mediano, que habiten en sitios planos y abiertos. No es recomendable para especies que en momento de huir, se escondan en madrigueras, para depredadores grandes o para especies arborícolas. Esta técnica es adecuada para sitios pequeños, de pocos kilómetros. La técnica involucra a un grupo de observadores estacionarios y a un grupo de conductores no estacionario, los cuales

se ubican inicialmente en la periferia del área de estudio y la rodean por completo. Todos los observadores y conductores cuentan a los animales hacia un solo lado en el momento del disturbio o movilización. La distancia entre los observadores es un punto importante para asegurar que todos los animales sean contabilizados. Esta es establecida por el doble de la distancia más corta registrada entre la distancia mínima de dispersión ante la movilización, y la distancia máxima a la cual es visible la especie en su hábitat natural.

Es importante considerar la posibilidad de provocar estrés al animal o de que éste salga lastimado al momento de la huida, particularmente cuando se utilizan barreras. Por ejemplo, se ha observado que algunos marsupiales pueden arrojar a las crías de sus marsupios al momento de la huida. Estos problemas pueden ser minimizados cuando la técnica es aplicada en períodos de menor riesgo (fuera de períodos de nacimiento) y si la velocidad y la conducta de los conductores es regulada. Asimismo, es recomendable que los períodos entre muestreos utilizando esta técnica, sean lo suficientemente largos para permitir a los animales recuperarse del estrés ocasionado por este disturbio, ya que se ha observado que animales que son heridos o altamente estresados dejan el sitio por períodos largos, lo que conlleva a la subestimación del tamaño total de la población.

Esta técnica también es aplicable para contar el número de animales observados en pequeños bloques o unidades de muestreo (*e.g.* cuadrantes, cuadrados, transectos rectangulares) seleccionadas del área total de muestreo. Se requiere de menor número de personas que para el conteo total, y en esta modalidad, todos los miembros del equipo son conductores y contabilizan tanto a los animales que dejan las unidades de muestreo como a los que entran a ellas.

Métodos de detección en silencio

Otro tipo de técnica de observación, consiste en la detección en silencio de las especies. El observador se acerca lo más silenciosamente posible, o bien permanece en una torre de observación y cuenta a los animales sin perturbarlos. Pueden adecuarse tanto a especies de tamaño pequeño como aquellas de tamaño mediano y grande, de hábitos diurnos y nocturnos, especies arborícolas, fosoriales y a especies marinas. Esta técnica es más recomendable que la anterior, ya que no produce estrés sobre los animales.

El acercamiento y conteo de los animales a través de la detección en silencio a pie, es un proceso lento y se invierte mucho tiempo. Por lo que muestreos a pie son solo recomendables para áreas de menos de 10 km². Para áreas mayores, es

común utilizar plataformas móviles, como son caballos, mulas, vehículos terrestres, aeroplanos, botes o barcos.

A través de esta técnica, puede lograrse la identificación individual de los organismos estudiados, registrar abundancias de los organismos al emerger de sus perchas, sitios de reproducción, anidación y maternidades, madrigueras, u observaciones directas en campo.

Identificación de individuos

Si el estudio que se lleva a cabo requiere de la identificación individual, los registros se deben considerar en esta técnica, las características físicas del animal, tales como marcas corporales, tamaño y forma de las astas o cuernos, cicatrices y otras deformidades que permitan la identificación del individuo son utilizadas para contar el total de los animales dentro del área. Esta técnica ha sido utilizada para obtener el número total de primates arborícolas y semiterrestres que viven en grupos sociales estables. Asimismo, han sido utilizados para contabilizar leones, canguros, caballos silvestres, y especies solitarias como son los leopardos y cheetas, utilizando para éstos los patrones de puntos en su piel, y para mamíferos marinos utilizando marcas naturales o cicatrices para su identificación.

Observaciones en sitios de refugio, reproducción y anidación

Esta técnica facilita la observación y registro de número de especies y abundancias, cuando se estudian especies que: 1) son localizadas fácilmente, 2) habitan en sitios que albergan un gran número de individuos, 3) son relativamente permanentes, y 4) en el caso de sitios cerrados, son logísticamente fáciles de estudiar. Cinco métodos de observación en sitios utilizados: 1) Conteo directo, 2) Conteo por disturbio, 3) Conteo de dispersión diurna o nocturna, 4) Conteo en colonias de anidación, reproducción y maternidad y 5) Conteo de emergencia.

Método de detección en silencio en áreas pequeñas

Es común que el área a estudiar sea muy extensa para la realización de censos, por lo que es recomendable que en estos casos se establezcan subáreas (cuadrantes, parcelas, o transectos) dentro del área total. Existen diversas técnicas de detección

en silencio y son las más frecuentemente utilizadas en los estudios de aves y mamíferos, entre las que podemos describir las siguientes:

Transectos

El registro de observaciones empleando este método, se realiza a lo largo de una línea de muestreo, que aunque con algunas variantes (puntos, lineales, en banda), se basan en tres consideraciones importantes: 1) Todos los animales en el transecto son observados; 2) Los animales son observados en su ubicación inicial, antes de ser perturbados por el observador, y un mismo individuo no es registrado dos veces; 3) Distancias y ángulos de ubicación son medidos con exactitud; y 4) Las detecciones son eventos independientes. Este método en cualquiera de sus variantes puede ser empleado para estudiar poblaciones y comunidades a través de técnicas directas, indirectas y de captura. Entre las variantes se pueden mencionar:

- *Puntos en transecto*. Las observaciones se realizan en un punto definido, a partir del cual se registran los animales y la distancia en la que se observaron, en términos de zonas concéntricas alrededor del punto definido, así como la distancia a partir de la cual no se logran observar los animales. Esta técnica asume que no existe inmigración dentro del área durante el período de observación, con el fin de evitar sobrestimaciones de la densidad. Asimismo, es necesario que el observador permanezca el tiempo suficiente a fin de detectar todos los animales dentro del área.
- *Transectos lineales*. Las observaciones se realizan a lo largo de líneas de longitud que son establecidas dentro del área de muestreo y todos los animales vistos a lo largo de éstas son contados por el observador (Figura 1).
- *Transectos en banda o franja*. Se basa en los mismos supuestos del transecto líneal, y las observaciones se realizan a lo largo de líneas establecidas en el área de muestreo, pero considera límites a cada uno de los lados de la línea de observación, dentro de los cuales solo se registrarán los individuos que son observados, excluyendo aquellos que se observen fuera de la “banda” de distancia establecida previamente, la cual podrá variar de la especie a estudiar, el hábitat y el clima, entre otros factores (Figura 1).
- *Conteo en caminos*. Las observaciones realizadas por este método se basan en las obtenidas en transectos lineales o en banda establecidos en caminos, considerando las distancias a las que los animales son observados. Es importante considerar el sesgo que resulta de este método al no establecer los

transectos al azar, por lo que es únicamente utilizado para algunas especies y bajo condiciones del hábitat que no permiten realizar observaciones al azar.

Cuadrantes

Este método es generalmente adecuado para especies con rangos de dispersión pequeños, o bien para el uso de trampas o métodos indirectos de conteo (Figura 2). Consiste en el establecimiento de un área cuadrada dentro de la cual todos los individuos que se encuentren en ella deberán ser registrados, antes de desplazarse fuera de ellos, para minimizar el sesgo producido al no ser contados, o bien al contarlos dos o más veces. Los límites del cuadrante deben ser claramente establecidos para que los animales sean contados con precisión. Los cuadrantes pueden ser establecidos al azar, o bien a lo largo de un transecto.

Técnicas de observación indirecta

A lo largo del sitio, pueden incluso realizarse conteos indirectos para estimar la abundancia de los individuos, considerando las señales que éstos dejan de su presencia y actividades. Entre las técnicas que son utilizadas para estimar la presencia y/o abundancia de una especie en un sitio de estudio, incluyen tanto aquellas que consideran conteos de los rastros registrados directamente en campo, como las que a partir de métodos y equipo adicional, promueven o facilitan el registro de los organismos. Las observaciones indirectas y algunas técnicas de registro que se emplean son las siguientes:

Registro de nidos

Los registros de nidos pueden facilitar la estimación de las abundancias de los organismos a estudiar, cuando como en el caso de las aves, éstos se encuentran agrupados en colonias. La técnica depende del sitio en el que se encuentra anidando la colonia de organismos, ya sea en un acantilado, a nivel del suelo, árboles, arbustos o madrigueras. Las abundancias pueden ser obtenidas de estimaciones del número de individuos a partir del conteo directo tanto de los individuos o parejas anidando como del número de nidos, o bien obtener índices que permiten correlacionar la abundancia a partir de los conteos del número de nidos observados.

Acantilados

Esta técnica requiere que los conteos se realicen desde un punto de observación opuesto al sitio, desde el cual se deberán registrar las parejas de individuos o el número de nidos ocupados. El conteo pueden dificultarse cuando las especies anidan en grandes densidades, no siendo posible identificar y contar todas las parejas, por lo que es necesaria la identificación de todos los sitios con huevos, polluelos o adultos incubando. Lo anterior requiere de muchas horas de trabajo, por lo que es recomendable realizar los conteos de individuos directamente. Para el caso de especies que son fácilmente observables en el momento de la anidación, es recomendable fotografiar a la colonia y contar directamente de la fotografía el número de nidos.

Madrigueras

Para estimar las abundancias de los organismos, es recomendable contar el número de madrigueras ocupadas en cuadrantes establecidos de manera aleatoria o estratificada, o a lo largo de transectos lineales. Las madrigueras que son utilizadas son fácilmente identificadas por la presencia de pelos (mamíferos), plumas, tierra removida, excretas, restos de la cubierta de los huevos y alimento, y huellas. Una de las limitantes de esta técnica, es que las madrigueras de las aves no pueden distinguirse fácilmente de las de los mamíferos, ni tampoco es fácil la identificación de las especies mediante esta forma. Por el contrario, en el caso de los mamíferos, las huellas, en algunos casos, permiten la identificación de las especies.

A nivel del suelo

El conteo de nidos puede fácilmente ser realizado cuando se trata de especies que anidan en colonias, tales como los pingüinos, gaviotas, y golondrinas de mar, entre otras. Si la colonia es pequeña y fácil de observar, el conteo de nidos puede realizarse directamente. Cuando las colonias son grandes, es recomendable subdividirla en secciones y contar cada una de éstas por separado. El conteo deberá llevarse al cabo considerando la época en la que los adultos pueden ser observados en los nidos, o las horas del día en que la permanencia es más estable, lo que dependerá de las especies y las colonias a estudiar, pero de manera general, se recomienda no realizar el conteo al inicio del día o en la noche.

Los conteos pueden realizarse en cuadrantes, transectos lineales, o ambos, para lo que será necesario estimar el área total de la colonia. Para el caso de los cuadrantes, estos deben ser establecidos al azar, o bien a distancias iguales a lo largo de un transecto, y contar todos los nidos observados en cada uno de éstos. Cuando los conteos se realizan a lo largo de transectos lineales, es necesario registrar la ubicación de éste, la distancia que es recorrida, y registrar todos los nidos observados a una o a diferentes distancias del transecto. El tamaño de la colonia es fácilmente estimado a partir del área total, número total de nidos observados, y área muestreada.

Arboles y arbustos

Muchas especies de aves, tales como las garzas, las cigüeñas, y espátulas, entre otras, anidan en árboles formando colonias grandes. Para especies que anidan en árboles decíduos, los nidos pueden ser fácilmente contados cuando pierden sus hojas. Los conteos pueden realizarse desde torres o puntos fijos de observaciones, o realizando recorridos aéreos, utilizando binoculares o telescopios, con algunas modificaciones como es el uso de espejos para verificar si los nidos están ocupados.

Ventajas y Desventajas: El conteo limitado al período en que las especies se encuentran agrupadas, constituye una ventaja en términos de efectividad del estudio a bajo costo y esfuerzo, ya que en otras épocas del año, la amplia distribución de los individuos en áreas más extensas, complicaría el conteo de los individuos. La desventaja de esta técnica, radica en que es aplicable en individuos en reproducción, para lo que se requiere mantener al mínimo el grado de perturbación. Otra limitante es que para el caso del conteo de madrigueras, se dificulta la identificación de la especie que la ocupa.

Registros en maternidades

Se realiza en los sitios de percha en el momento en que los adultos emergen. A través de este método puede estimarse el número de hembras lactantes, contando a las crías que no vuelan. La información obtenida puede complementarse con la información obtenida de captura para una mejor estimación del tamaño y composición de la colonia, por ejemplo, la estimación del número de hembras grávidas, hembras postlactantes y lactantes, puede proporcionar el número de hembras en la colonia.

Registro de cantos, llamados u otras señales de comunicación

La identificación de especies y la estimación de sus abundancias a través del registro de señales auditivas es muy útil en el estudio de aves y mamíferos, ya que esta técnica permite el registro de especies raras y/o difíciles de observar, y facilita la ubicación de los organismos dentro del área de estudio. El conteo de cantos o llamados es usado frecuentemente como un índice de la abundancia, ya que en solo provee información indirecta de la presencia y número de individuos.

La técnica se basa en que muchas especies de aves y mamíferos dentro de al menos un grupo taxonómico, muestran variaciones individuales en llamados o cantos, los cuales pueden registrarse y grabarse con un micrófono y realizar espectogramas de sonido utilizando programas de cómputo, los cuales permiten la identificación de las especies, y estimar la cantidad y tipo de vocalizaciones, así como el número de individuos presentes. En el estudio de las especies nocturnas, tales como los murciélagos y algunas especies de aves, constituye una importante herramienta. Para el caso de los murciélagos, los detectores permiten que las señales ultrasónicas emitidas por éstos sean percibidas por el oído humano, las cuales pueden ser grabadas y visualizadas a través de programas de cómputo.

Ventajas y desventajas: Esta técnica es apropiada para estimar las abundancias relativas de las especies raras o cuando debido a sus hábitos no pueden ser observados fácilmente. Sin embargo, los datos obtenidos pueden llevarnos a sesgos importantes, ya que las señales producidas pueden ser influidas por los hábitos de las especies y el ambiente. Para el caso de muchas especies, los sonidos emitidos pueden diferir con relación a su comportamiento y a la época de año, o bien ser únicamente emitidos por los machos. Asimismo, la diferenciación de especies y/o individuos, puede verse limitada cuando los sonidos no se distinguen con facilidad, o cuando las señales son muy semejantes entre las especies. Las condiciones ambientales pueden influir en la detección de las señales y la frecuencia en que son emitidas.

Registro de excretas

La observación y conteo de excretas es una técnica indirecta que permite identificar la presencia del animal y estimar su abundancia a través de índices. El muestreo de excretas se puede realizar en cuadrantes, si éstas son abundantes, o a lo largo de transectos lineales, si no lo son. La identificación de las excretas debe ser realizada considerando otras observaciones, tales como huellas, pelos, plumas, o bien por la presencia del animal. Algunas especies presentan excretas particulares, tales como el venado cola blanca y el conejo.

Aunque la cantidad, tamaño, forma y consistencia de las excretas depende de la dieta del animal, el tiempo de permanencia varía de acuerdo al hábitat, a los cambios estacionales, a su composición y contenido de fibra, y a la presencia de insectos coprófagos. Para contrarrestar el efecto de estas variables en el estudio, se recomienda: 1) eliminar las excretas que ya hallan sido contadas, y definir la frecuencia del conteo, considerando la tasa de depósito y de descomposición; 2) marcar las excretas que han sido recientemente depositadas y registradas, para poder excluir en el próximo conteo éstas y las que luzcan menos recientes.

Esta técnica permite comparar las densidades relativas de las excretas en diferentes áreas, que al considerar la tasa de defecación de las especies, ya sea a través de observaciones de campo o estudios de animales en cautiverio, transforma estos datos en número de animales por día en términos de densidad. Asimismo, a partir de los registros de excretas, es posible realizar estudios sobre hábitos alimenticios de las especies, utilización del área y territorialidad.

Ventajas y desventajas: Constituye una técnica práctica para registrar la presencia de especies difíciles de observar, o en sitios donde la visibilidad puede variar entre hábitats. La identificación de especies por excretas puede ser difícil, esto puede contrarrestarse estableciendo grupos de especies. Las estimaciones obtenidas pueden ser sesgadas tanto por el efecto del hábitat y por los cambios en la persistencia de las excretas debido a las estaciones climáticas, o por la variación de la tasa de defecación en función con la dieta, y por la edad, condición y sexo del animal.

Registro de restos y otras señales de alimentación

Muchas especies pueden dejar impresas marcas características en los residuos de sus alimentos, tales como marcas de dientes en los frutos, hojas u otras partes vegetales. Estas señales pueden ser evidencia de la presencia y distribución de las especies, y pueden también ser medidas al estimar la densidad del alimento y la proporción que es consumida. Para especies con hábitos alimenticios similares, es recomendable considerar los registros en conjunto. Los muestreos pueden realizarse en cuadrantes o transectos lineales. Los registros pueden limitarse a los sitios de alimentación o en donde éstos son almacenados.

Ventajas y desventajas: Aunque solo es posible obtener un índice relativo, esta técnica permite obtener mediciones de manera rápida y fácil, las cuales pueden correlacionarse con el número de individuos trapeados. Sin embargo, es necesario determinar las especies de plantas que son utilizadas como alimento por cada especie estudiada y distinguir las marcas impresas de una especie entre

varias. Los resultados pueden ser sesgados al considerar que el consumo de una especie de planta dependerá también de la abundancia de otros alimentos.

Registro de huellas

Las observaciones y conteo de huellas es una técnica útil para detectar la presencia del animal y permite obtener índices de abundancia de las especies. Es importante resaltar que en el caso de los mamíferos cada especie posee una huella distintiva. Asimismo, es posible obtener información sobre la conducta, edad, estatus social, modo de locomoción y hábitos de forrajeo. El conteo de huellas se ve limitado a zonas donde el tipo de suelo conserva a detalle la forma y tiempo de impresión de éstas. Lo anterior no permite el muestreo aleatorio, por lo que se recomienda estandarizar los registros contando el número de individuos que pasan por el área.

Los registros de huellas pueden realizarse tomando fotografías, moldes de yeso o parafina, o impresiones en papel carbón, o de fotografía, colocándolos en estaciones de registro previamente establecidas. Estas pueden ser cubiertas por el tipo de suelo que permita la impresión, o bien cubrir el área con papel carbón o de fotografía. Estas estaciones pueden establecerse en sitios donde se han observado individuos, o bien utilizar cebo con olor que atraiga a los organismos, lo que comúnmente se conoce como estaciones olfativas. Las estaciones puede ser arregladas a lo largo de un transecto lineal, con distancias iguales entre ellas, y estar distribuidas proporcionalmente entre los tipos de hábitats del área de estudio.

Ventajas y desventajas: Este método es útil para especies sigilosas, pero únicamente permite obtener medidas relativas. Aunque la identificación de los individuos de diferentes tamaños puede ser obtenida, es generalmente difícil definir si un grupo de huellas pertenece a uno o a varios individuos. Cuando las huellas de varias especies no pueden ser distinguidas, es recomendable tomar registros combinados de esas especies, lo que constituye un problema al estimar las abundancias de los pequeños mamíferos. Estas estimaciones involucran tanto la distancia recorrida como la densidad de la población, por lo pueden presentar sesgos como resultado de las diferencias en conducta entre diferentes estaciones y hábitats, así como cuando se presentan territorios que pueden permitir o restringir el acceso de los animales a las áreas muestreadas.

Estructuras y características del hábitat

Muchos animales crean estructuras para la protección y alimentación de sus crías que son fácilmente detectables visualmente, tales como nidos de hojas y pastos de ardillas, montículos de tierra creados por tuzas, entre otros. Asimismo, las señales que los animales herbívoros dejan al alimentarse, como son algunos roedores que dejan excretas y residuos de pasto y semillas de los que se alimentan; u otras especies que ramonean los arbustos, aves y mamíferos frugívoros que dispersan los frutos en los sitios de alimentación. Otros tipos de rastros son los que algunas aves como los pájaros carpinteros, o algunos mamíferos como los úrsidos o cérvidos pueden marcar con sus picos, garras o astas en los troncos de los árboles, o aquellos como la urea cristalizada o excretas de aves y quirópteros que depositan en sus sitios de percha.

Ventajas y desventajas: estos rastros únicamente permiten detectar la presencia de los animales, lo cual es recomendable cuando éstos son difíciles de observar y cuando los rastros permiten identificar a la especie. Sin embargo, algunas especies dejan rastros similares, lo que no permite la identificación de la especie.

Señales olfativas

Este tipo de señales es común que sean utilizadas por los mamíferos para diferentes funciones sociales y antidepredatorias, a través de secreciones de glándulas especializadas, orina y excretas que transmiten información olfatoria. Muchas especies de mamíferos impregnan estos olores en sus sitios de refugio, letrinas y territorios, sitios que se denominan “espacios activos”, y que permiten al investigador localizar y en muchos casos identificar a la especie.

Ventajas y desventajas: es una técnica útil y eficaz para localizar organismos, sin embargo, en muchas ocasiones los olores producidos por algunas especies son imperceptibles para el olfato humano, por lo que es más recomendable observar directamente al animal.

Otras técnicas de observación indirecta

La utilización de cámaras fotográficas y de video constituyen técnicas opcionales que pueden emplearse para la obtención de registros de manera indirecta, o bien combinarse con otras técnicas de observación tanto directa como indirecta, como las descritas anteriormente. Entre las técnicas de observación indirecta, se

recomienda la toma de fotografías de los registros de las huellas, cuando éstos no puedan ser identificados en campo, o bien que se requiera evidencia de ellos, o para el caso en que la estimación de la abundancia de las observaciones indirectas deba realizarse en un tiempo corto, o cuando los rastros se observen en gran número, como es el caso de los nidos.

Entre los tipos de cámaras que han sido frecuentemente utilizados para el estudio de la fauna silvestre, y en especial para las especies de mayor tamaño, de hábitos nocturnos y de difícil observación, son las “cámaras remotas de disparo” (remote-trip cameras) o “trampas cámara”, adecuadas para identificar las especies que habitan en un área particular, para monitorear la abundancia relativa y absoluta de una especie y para estudiar los patrones de actividad. Las trampas cámara son dispositivos automáticos con flash electrónico, con mecanismos de disparo que son activados ante la presencia del animal. Estos mecanismos pueden ser:

- a. Mecánicos. Pueden ser cuerdas, cables de acero, o varillas de bambú que están conectadas al obturador de una cámara, y a los que se les coloca cebos para atraer al animal. Al tocar las cuerdas con cebo o pasar a través de un camino angosto donde los cables o varillas han sido colocados, éstos se disparan, activando los mecanismos para fotografiar al animal.
- b. Placas de disparo. Consisten de dos placas de madera unidas a presión por bisagras, y de una cuerda que mantendrá el circuito en posición abierta. Almohadillas sensibles a la presión, resistentes al agua es una buena opción para el uso de placas. Estos dispositivos son colocados en caminos, o sitios con cebo, sobre los cuales el animal caminará, activando el mecanismo de disparo y toma de la fotografía. Es necesario que al colocar las cámaras, éstas deban ser debidamente camuflageadas con suelo y hojarasca, y protegerlas con plásticos de las inclemencias del tiempo.
- c. Celdas fóticas. Son utilizadas para registrar el paso de los animales a través de rayos de luz. Al ser sensible a cualquier objeto que pase a través de los rayos, es necesario definir con exactitud la distancia y altura a la que se deberá fijar la cámara, con base al tamaño o tamaños de los animales que queremos fotografiar.
- d. Rayos infrarrojos. Sensores de movimiento y sensores infrarrojos activos, los dos primeros requieren que la cámara este adecuadamente fijada, mientras que los últimos al dispararse con el campo de calor no requieren de tal precisión, y algunos eliminan la posibilidad de la activación por una falsa detección de cambio de calor producida por la luz del sol.
- e. Sensores infrarrojos pasivos. No son selectivos y registran cualquier animal homeotermo que pase a través del amplio campo de detección.

Ventajas y desventajas: La ubicación de las cámaras no interfieren en los hábitos del animal, se elimina la necesidad de captura y el disturbio humano es mínimo.

Grandes áreas pueden ser muestreadas con pocas personas, y el investigador no necesariamente tiene que realizar revisiones constantes. Las cámaras facilitan en gran medida la detección de especies terrestres crípticas de difícil captura, ya que los senderos de desplazamiento, sitios de alimentación y madrigueras no son fácilmente encontrados por su poca visibilidad. La identificación de los individuos a través de fotografías puede únicamente lograrse si cada uno de éstos posee diferentes patrones de coloración, cicatrices y otras marcas distintivas. Cuando el uso de las trampas cámara se combina con la captura y marcaje de organismos, las fotografías obtenidas pueden proveer importante evidencia que permitirá fortalecer la interpretación de los datos de abundancia, movimiento y actividad.

Entre las desventajas de la técnica, están los altos costos del equipo y películas, el riesgo de que el equipo sea robado en campo, y las altas posibilidades de que los dispositivos de disparo causen un sesgo en el muestreo al no registrar todas las especies con base a las diferencias en tamaño, y cuando el equipo se daña, es muy difícil su reparación en campo. Por otra parte, aunque se pueden obtener alturas de los organismos registrados con base a la que fue fijada la cámara, no es posible obtener datos de pesos y condición reproductiva.

Las videocámaras son otra opción para obtener el registro de animales, y pueden ser activadas por un mecanismo de disparo y monitorear constante o intermitentemente. El equipo y películas son costosos, por lo que recomienda que las tomas sean por intervalos cuando son monitoreadas las visitas de especies en sitios altamente frecuentados, como son las perchas de murciélagos, acantilados donde algunas especies de aves forman colonias para anidar.

Técnicas de captura para aves y mamíferos

Muchos de los métodos empleados para la realización de inventarios y estimaciones de abundancias y densidades de aves y mamíferos requieren que los organismos sean capturados. La captura de los organismos constituye una de las técnicas más adecuadas y en muchas de las veces la única, que permite la obtención de organismos de referencia para colecciones, de datos sobre condiciones reproductivas, de alimentación a través de regurgitaciones o contenidos estomacales, de endo y ectoparásitos, etc. El uso de las técnicas de captura es más adecuado para animales de tamaño pequeño, ya que al ser mayor el tamaño del animal, la captura de éstos se hace más difícil, por lo que para animales de tallas grandes es más recomendable

realizar observaciones directas o indirectas, aunque se han desarrollado diversos dispositivos para su captura cuando a sido necesario.

Para la estimación de la abundancia de la población a estudiar, el emplear esta técnica requiere la mayoría de las veces del marcaje de los organismos, para lo que es necesario tener conocimientos sobre la biología, ecología y conducta de la especie a estudiar, ya que la probabilidad de captura es una de las variables que pueden sesgar las estimaciones.

Para emplear alguna de las técnicas de captura es necesario considerar: 1) el equipo y dispositivos disponibles para la captura; 2) el cebo o atrayente; 3) el arreglo espacial de las trampas; 4) los períodos de captura; y 5) las técnicas de manejo de los animales al capturarlos.

Equipo y dispositivos de captura

A. Tipos de trampas

- *Golpe*. Son del tipo casero, que consisten de un dispositivo que al acercarse el animal al cebo, se dispara y mata al animal. Es útil para los métodos de estimación de abundancias por remoción. Dentro de este tipo de trampas encontramos las “Víctor” para roedores y especies escavadoras.
- *Caja*. Sherman, Allcock, Havahart, Tomahawk. Se utilizan para capturar al animal sin lastimarlo, son rectangulares, con entradas en uno o ambos extremos, o en la parte superior. Dentro de la trampa se encuentra una plataforma que al ser presionada por el peso del animal, activa el dispositivo que cierra las entradas. Pueden construirse con madera, aluminio, alambre o plástico, y utilizar diferentes dispositivos de activación. Los tamaños de las trampas varían de acuerdo a la especie que se desee capturar, pueden ser o no plegables. Este tipo de trampas es frecuentemente utilizado en los métodos de captura-recaptura.
- *Pozo (Pitfall)*. Es el tipo de trampa mejor adecuado para la captura de mamíferos pequeños (< 10 g), tales como las musarañas. Consiste de un contenedor con uno de los extremos abierto, que puede ser cilíndrico o cónico, de plástico, polivinil (PVC), aluminio o metal y de 40 a 50 cm de alto o profundidad y de 20 a 40 cm de diámetro. La trampa es colocada dentro del sustrato, de tal manera que el extremo abierto se encuentre al nivel de la superficie de éste. Los animales son capturados cuando caen al contenedor través del extremo superior abierto, el cual puede contener agua o alcohol, si el sacrificio del animal es necesario. Estas trampas puede ir acompañadas de un dispositivo de conducción, fabricado de malla u otro material.

- *Embudo*. La entrada del extremo más ancho del embudo se encuentra en la parte exterior de la trampa, mientras que la entrada del más angosto se encuentra hacia el interior. Al entrar el animal a la trampa por el extremo ancho, trata de salir desplazándose hacia la parte más angosta, quedando atrapada al entrar por el orificio interno. Algunas trampas poseen cables horizontales que dirigen al animal hacia la parte interna, a fin de evitar que éste escape por la parte externa o más ancha del embudo. Las trampas de embudo diseñadas para la captura de murciélagos, consisten de un tubo o conducto que dirige al animal a una bolsa en la que son almacenados.
- *Cepos*. Son trampas de cuerda (lazos), alambre galvanizado o metal, las cuales varían en tamaño (del 0 al 10) y dispositivos, y pueden tener protección para evitar dañar al animal. Uno de los extremos de la trampa forma un aro o marco, con un dispositivo de activación en el centro, mientras que el otro es asegurado en una base. Son colocadas en caminos o sitios de actividad, y no siempre requieren de la utilización de cebos. El animal es capturado al momento de presionar el dispositivo de activación, el cual cierra automáticamente el marco sujetando alguna parte de su cuerpo. Entre este tipo de dispositivos están: las “Conibear”, las “Víctor” con y sin protección. Estas trampas pueden ser colocadas a nivel de la superficie o bien dentro de madrigueras.
- *Alcantarilla*. Están construidas del metal utilizado para las alcantarillas, o con bien con paredes de metal, con 1.8-2.4 m de longitud y 1.2 de ancho, y una puerta de metal de caída en ambos extremos. El peso y tamaño de esta trampa limita su uso en caminos. Es ampliamente utilizada en la captura de osos que requieren ser reubicados.
- *Arpa*. Esta trampa consiste de una estructura formada por dos filas alternadas de cordeles o hilos de alambre suspendidos verticalmente. Una bolsa es suspendida debajo de esta estructura que permite recoger a los murciélagos que son capturados. Son utilizadas en claros de áreas con gran cobertura, entradas de cuevas o minas. En ocasiones es colocada una segunda trampa para que en caso de que el murciélago pueda evadir la primera, no logre superar la segunda.
- *Línea*. Consiste en una rejilla de cordel o cuerda que se coloca sobre un cuerpo de agua. La línea es puesta en filas paralelas con una pulgada de separación. Este es un método de captura efectivo para usar sobre estanques, lagunas someras o piscinas. No es recomendable su uso en ríos, ya que el ruido ocasionado por la corriente no permite detectar el momento en que murciélagos han descendido y capturados en el agua y pudiendo de esta manera ahogarse. Una vez que los murciélagos han caído al cuerpo de agua son colectados, cuidando que estén completamente secos antes de manipularlos.

- *Trampas de corral.* Son estructuras permanentes construidas con malla o cables y postes de madera como sostén. Es importante implementar una barrera o conducto a la entrada del corral, hacia donde los animales serán ahuyentados.
- *Pértigas o agarra-perros.* Consiste de un tubo de aluminio y un cable que corre a lo largo de éste, que en uno de los extremos forma un aro, el cual puede poseer un mecanismo automático de ajuste, que abre o cierra el aro de acuerdo al tamaño del animal. Algunas pértigas son fabricadas con un mecanismo de ajuste que es operado manualmente, a través de tornillos que abren y cierra el aro al manipular el tubo hacia los lados. Este objeto es necesario para sujetar animales vivos capturados mediante distintos tipos de trampas, tales como los cepos.

Tipos de redes

Redes de aro o manuales

Consisten de un marco circular que sostiene una red, con un tubo que permite su manipulación. Para la captura de los organismos, las redes son deslizadas con mucho cuidado detrás del animal cuando se encuentra en los sitios de percha, alimentación, nidos, caminos, cuerpos de agua, o al salir de la madriguera. Al realizarlo de esta manera, evita que el animal detecte la red y salga lastimado con el aro que la sostiene.

Las redes de niebla

Son las más utilizadas para la captura de aves y murciélagos. Este tipo de redes permite la captura en diferentes situaciones, es portátil y fácil de instalar, y es sobre todo uno de los métodos menos costosos. Una de las desventajas de este tipo de red, es que los organismos al momento de ser capturados deben removerse inmediatamente, ya que pueden enredarse, romper la red y salir dañados. Los animales capturados deben removerse individualmente, por lo que estas redes no son adecuadas para sitios donde se espera encontrar un gran número de individuos.

Las redes de niebla consisten de una malla fina de fibra sintética (nylon o poliéster) sostenida por un marco rectangular de varias líneas de nylon. Esta red es colocada en los sitios de captura empleando dos tubos de metal. Las más comunes son las redes japonesas monofilamentosas de 38 mm de abertura de malla.

Cada red tiene usualmente cuatro espacios separados por las líneas del marco y pueden ser de longitudes de 2.1, 5.5, 9.1, 12.8 y 18.3 m y pueden alcanzar alturas de 2.1 a 2.4 m cuando son extendidas. Las redes pueden colocarse de diferentes maneras de acuerdo al hábitat, topografía, especies a capturar, vegetación y condiciones climáticas.

Redes de caída

Son redes de tamaño y luz de malla variable de acuerdo a la especie a capturar, la cual es arrojada sobre el animal manualmente o por dispositivos automáticos o remotos. Es recomendable utilizar cebos o atrayentes auditivos o visuales, sobre los cuales se colocará la red, o bien conducir a los animales al sitio sobre el cual se encuentra la red. Es frecuente la captura a través de esta técnica desde helicópteros en sitios abiertos.

Redes de disparo

Son redes conectadas a proyectiles que son lanzados con cargas de pólvora, accionados a control remoto. Los animales pueden ser atraídos con cebo u otro tipo de atrayentes, o bien ser conducidos a un sitio adecuado donde la red será disparada. Asimismo, pueden realizarse las capturas desde helicópteros u otro vehículo aéreo o terrestre.

Redes de conducción

Las redes pueden ser de algodón o nylon, y el tamaño dependerá de la especie y el área del sitio, hacia donde el animal será conducido. Las redes pueden estar sostenidas únicamente por polos a cada uno de los extremos, o bien estar sostenidas por marcos de metal o madera.

Otros tipos de redes

Existe un tipo de red que es utilizada para colocarse sobre cuerpos de agua pequeños, tales como estanques. Se colocan cuatro varas en las orillas del estanque, la red es enrollada alrededor de las varas creando las paredes de la trampa y la

porción sobrante de la red se coloca a manera de techo. Es importante dejar un espacio adecuado entre el espejo de agua y el inicio de la red, de manera que el acceso de los murciélagos al cuerpo de agua sea fácil. Cuando los murciélagos entran a beber agua e intentan reanudar el vuelo quedan atrapados en la red.

Muchas de las trampas para aves y mamíferos consisten de un marco de madera y aluminio, el cual sostiene a una red de nylon, algodón o cable de acero u aluminio. El dispositivo de activación puede variar, así como el tamaño y el atrayente utilizado, dependiendo de la especie, sus hábitos y el lugar donde será capturada. Aunque muchos de los modelos de trampas y redes han sido patentados por diversas compañías extranjeras, muchas veces debido a los altos costos de éstas y al trámite aduanal que involucra tiempo y esfuerzo, el investigador debe hacer uso de su ingenio para diseñar sus propios dispositivos de captura, lo que muchas veces puede incrementar el éxito del trabajo.

Uso de drogas, cebos, atrayentes y señuelos

Para especies de tamaño mediano o grande, con hábitos que dificultan su captura con trampas y redes, tales como las especies de monos que son arborícolas, o los felinos como el jaguar y puma, es recomendable la administración de drogas que duerman o seden al animal. Las dosis dependen de la especie, el peso y la condición reproductiva del animal, y el objetivo del estudio, el cual podrá o no requerir de la liberación del animal. La administración de estas sustancias puede realizarse a través de: dardos o cebos.

La administración de sedantes por dardos deberá ser llevada a cabo por personal con experiencia, ya que éstos deberán ser disparados en las extremidades del animal, evitando lugares como el pecho, abdomen o cabeza, zonas de alto riesgo para el animal.

En el caso del uso de cebos, el alimento que es colocado en trampas o caminos es mezclado con sedantes en dosis para dormir o sacrificar al animal. La administración de estas sustancias debe ser cuidadosa, a fin de evitar que otras especies silvestres o domésticas, y en especial personas, puedan consumirlas. Es recomendable su uso cuando las especies sedadas sean fácilmente localizadas después de haberlas consumido.

Aunque no todas las técnicas de captura requieren de la utilización de cebos, como es el caso de las trampas *Pitfall*, o aquellas que son colocadas en caminos donde es fácil la captura de animales, el éxito de captura de la mayoría de ellas depende del cebo o atrayente que es utilizado. Pueden utilizarse cebos de alimentos que comúnmente consumen los animales, o los alimentos balanceados preparados

comercialmente, los señuelos artificiales o con animales vivos, y sustancias olorosas. El tipo de atrayente varía de acuerdo a la especie, por lo que es recomendable realizar pruebas preliminares para seleccionar el atrayente más efectivo.

Cebos

Los alimentos preparados para ganado o animales domésticos son comúnmente utilizados para mamíferos herbívoros como el venado. Asimismo, las manzanas, peras, alfalfa, heno y maíz han utilizados como cebos para la captura de venado cola blanca. Las gramíneas y las hojas y brotes de árboles constituyen un atrayente efectivo; sin embargo, el esfuerzo y tiempo que se requieren para su obtención, han reducido la frecuencia en su uso. En climas áridos, el agua puede ser utilizada como atrayente.

Los atrayentes empleados comúnmente para atraer carnívoros a las trampas, son el pescado y la carne de animales domésticos en estado de descomposición, ya que al incrementarse la intensidad del olor, funcionan mejor como atrayentes.

Las semillas de maíz, trigo y avena son usadas para atraer aves granívoras; frutas en descomposición para aves y mamíferos frugívoros, y una mezcla de semillas, avena y de alguna sustancia pegajosa como la crema de cacahuete o fruta, para roedores.

Atrayentes olfativos

Para coyotes, se han utilizado orina y secreciones de la glándula anal de coyote, aceite de pescado y glicerina como conservador, así como huevos, carne y aceite de pescado en descomposición. Aunque muchos carnívoros y mamíferos pequeños pueden ser atraídos por la orina, sangre y secreciones glandulares, otras especies pueden ser repelidas por éstos.

Señuelos y carnadas

Se han empleado tanto animales vivos como modelos artificiales como atrayentes para la captura de animales. Para aves rapaces, se han utilizado trampas con aves o roedores como señuelos, encima de las cuales se colocan redes o varios lazos que sujetan los talones de las águilas o halcones cuando se acercan a la trampa. Para patos en épocas de reproducción, se han utilizado señuelos de hembras como atrayentes en trampas de embudo.

Asimismo, se han utilizado diferentes sonidos grabados en audiocasetes para atraer diferentes animales. Esta técnica se ha utilizado para capturar venados en corrales y redes.

Disposición de las trampas en el área de estudio

El arreglo de las trampas en los sitios de muestreo es un aspecto importante a considerar para la captura de los organismos, el cual dependerá de los objetivos del estudio y los métodos de estimación utilizados. Para realizar inventarios de especies, la ubicación de las trampas a lo largo de un transecto es la manera más fácil a utilizar.

Para obtener estimaciones de la densidad de los organismos, es recomendable colocar las trampas en disposición de retícula o circular. En el arreglo de retícula, el espacio entre ambas líneas de trampa es el mismo (10-15 m). Para el arreglo circular, las trampas son colocadas a la misma distancia en cada una de las líneas que salen del centro. La distancia entre trampas de diferentes líneas se incrementa conforme se alejan del centro del círculo.

Técnicas de marcaje para aves y mamíferos

Los estudios de aves y mamíferos frecuentemente requieren del marcaje de al menos algunos de los individuos en una población o comunidad. El objetivo del marcaje es facilitar la identificación de los organismos cuando éstos son recapturados u observados a distancia. Para llevar al cabo el marcaje, es importante considerar:

- 1) La distancia en la que son visibles las marcas;
- 2) la importancia de la identificación individual;
- 3) el tamaño, la forma y los hábitos de la especie a estudiar;
- 4) el número de animales que deben ser marcados;
- 5) el período en el cual la marca debe ser funcional;
- 6) el efecto de la marca en la sobrevivencia, conducta y reproducción del animal marcado;
- 7) los objetivos del estudio;
- 8) los resultados que se pueden obtener;
- 9) el presupuesto con que se cuenta;
- 10) ser creativo e ingenioso por sobre de todas las cosas.

Junto con los puntos anteriores, la aplicación apropiada de las marcas es esencial para obtener buenos resultados, ya que si éstas no se aplican correctamente pueden lastimar al animal, influir en su conducta, reproducción o sobrevivencia, o en el mejor de los casos que la marca se pierda y con esto resultados.

Existen tres tipos de marcas: a) Permanentes, b) Semipermanentes, y c) Temporales, las cuales deberán ser siempre seleccionadas considerando los puntos anteriores.

Marcas Permanentes

Los animales pueden ser marcados permanentemente con planchas candentes o congeladas, tatuajes, o modificación de la forma o longitud de una extremidad a través de escisiones, tales como ectomización de falanges y perforación de orejas o dígitos, utilizadas comúnmente para mamíferos pequeños.

Marcas congeladas

Consiste de marcas aplicadas con planchas de cobre congeladas con nitrógeno líquido, alcohol y hielo seco, las cuales destruyen los melanocitos y producen la pérdida de color de la piel, pelo o plumas, quedando una marca blanca. Las marcas pueden variar en el sitio de aplicación y patrón de impresión para facilitar la identificación individual. No es recomendable para especies con coloración clara, ya que dificultará la identificación en campo.

Marcas con planchas candentes

Son utilizadas generalmente para marcar ganado, y no son recomendables para la fauna silvestre por cuestiones de tratamiento ético.

Tatuajes

Para utilizar esta técnica, es necesario que el tatuaje sea adecuadamente realizado para su correcta y fácil identificación. Es utilizado tanto para aves como para mamíferos, pero más recomendable para los organismos con coloración clara. El sitio y patrón del tatuaje dependerá de la especie a marcar y de la facilidad para identificarla en campo. No es recomendable realizarlo en membranas alares o

uropatagiales de aves y murciélagos, ya que la regeneración de tejidos provoca la pérdida de la marca.

Ectomización y Perforación de orejas y/o dígitos

Esta técnica ha sido utilizada para marcar una gran variedad de aves y mamíferos, las cuales muchas de las veces se combinan con otras técnicas de marcaje. Sin embargo, la mayoría de estas técnicas están adaptadas para el marcaje de pequeños mamíferos. Se recomienda que se utilice un instrumento limpio y afilado para realizar el corte, e inmediatamente aplicar un antiséptico en la herida para prevenir infecciones.

Los animales pueden ser marcados para su identificación individual al variar el sitio del corte, por lo que la ectomización de falanges es más recomendable al tener más posibilidades de marcaje individual que la perforación de orejas, o en algunos casos pueden combinarse ambas técnicas para aumentar las posibilidades de identificación de cada individuo. La desventaja de esta técnica se debe a que pueden surgir confusiones con las cicatrices naturales de los animales. Sin embargo, constituye una técnica fácil de operar, eficaz y de bajo costo.

Marcas Semipermanentes.

Consisten de dispositivos que son fijados al animal para su identificación. Estos dispositivos de acuerdo a la forma, lugar y tipo de fijación, se pueden clasificar en: collares, etiquetas, luces beta, anillos y bandas.

Collares

Son adecuados para organismos que poseen cuello más delgado que la cabeza, lo que impide la pérdida de la marca. Este debe ser flexible, con la superficie interna lisa para evitar que el animal sea lastimado, y debe fijarse adecuadamente al cuello del animal. Los collares deben ajustarse al cuello del animal, ya que los collares muy apretados o poco ajustados pueden causar heridas al animal. No es recomendable para juveniles. Pueden ser de piel con cubierta de aluminio, en forma de cuentas de metal o plástico, o bien combinaciones de diferentes tipos de plástico. Para la identificación de diferentes individuos, pueden utilizarse diferentes colores, o bien colocar etiquetas con claves para cada individuo, o combinar esta técnica con radiotelemetría.

Etiquetas

Varían en tamaño, forma, y materiales utilizados para su construcción. Pueden ser colocadas en collares, pero comúnmente se aplican directamente al cuerpo del animal, frecuentemente a las orejas, con pinzas diseñadas especialmente para esto. Pueden utilizarse diferentes colores, códigos, formas, y materiales de acuerdo a las especies a marcar. Es recomendable colocar a la vez más de una etiqueta, con el fin de asegurar la identificación del animal en caso de que una de éstas se pierda.

Luces beta

Consiste de una cápsula de vidrio con cubierta de fósforo que contiene una cantidad pequeña de tritio gaseoso. Cuando las radiaciones beta del tritio reaccionan con el fósforo, éste produce luz visible. El uso de estas marcas es recomendable para organismos grandes, ya que las luces beta pequeñas (0.05 cm para organismos de 10 g) no producen la cantidad de luz requerida para la observación. La ventaja de estas marcas es el período de vida de hasta 15 años, requiriendo de collares especiales para su fijación.

Bandas

Son marcas de aluminio o plástico, con diferentes colores, y en las que se pueden registrar datos de edad, identificación, lugar de marcaje, entre otros. El lugar de fijación varía de acuerdo a la especie a marcar, para las aves generalmente se colocan alrededor de las extremidades traseras con pinzas diseñadas para esto. Para el caso de mamíferos pueden ser colocadas en las extremidades posteriores, dígitos, o en las alas para los murciélagos.

Anillos

Son utilizados comúnmente para el marcaje de algunas aves y murciélagos. Pueden ser de aluminio o plástico y de diferentes colores y materiales. En aves y algunos mamíferos pequeños son colocados en las extremidades posteriores, mientras que en murciélagos son colocados en las alas. Pueden utilizarse varios anillos a la vez, o combinarse con bandas u otro tipo de marcas.

Marcas Temporales

Se incluyen aquellas que tienen una duración de menos de un año, como son productos químicos que gradualmente reducen su coloración o desaparecen, o dispositivos que poco después de ser ajustados al animal, los destruye o pierde.

Tintes, Pinturas y Polvos

Los tintes y las pinturas son utilizados para detectar o identificar al animal. Estos pueden ser aplicados con rociadores, dardos o pistolas de pintura. La posición y el color de la pintura o tinte puede variar para facilitar la identificación de individuos. Estas sustancias son aplicadas en el plumaje de las aves, y en embriones antes de eclosionar, en el pelaje y diferentes partes del cuerpo de mamíferos. Otra técnica es utilizar polvos fluorescentes que se aplican en el pelo del animal, sin embargo, sólo es aplicable para períodos cortos, y no es muy recomendable, ya que el polvo puede ser consumido al lamerse los animales, y puede ser carcinógeno o puede incluso interferir en la espermatogénesis, por las altas cantidades de zinc que contiene. Asimismo, para marcar crías recién nacidas que carecen de pelo o para estudios en los sitios de percha, pueden utilizarse pinturas fluorescentes no tóxicas por períodos cortos (días) o bandas de aluminio de color y numeradas. Es recomendable utilizar colores como rosa, naranja y amarillo.

Bandas reflexivas y marcas lumínicas

Las cintas adhesivas de colores y las bandas reflexivas pueden ser aplicadas directamente sobre alguna parte del cuerpo, o a las bandas metálicas o de plástico para la identificación individual de los animales, el sexo o a las especies durante el desplazamiento en los sitios de alimentación, refugio y/o reproducción. Las cintas reflexivas permiten la visibilidad de las marcas con luces artificiales, con cámaras de video, o con intensificadores de imagen (binoculares de visión nocturna). Están disponibles en una gran variedad de colores, pero algunos colores son fácilmente confundidos a algunos metros de distancia. Los colores rojo, amarillo y blanco son los más fáciles de distinguir con una lámpara de batería o con binoculares desde hasta 100 m.

Las marcas quimioluminiscentes son de las de menor costo. Pueden ser preparadas utilizando cialume, el cual consiste de un componente de fósforo gris-amarillento y un reactor con base de peróxido, los cuales se mezclan y producen

luz brillante. Los productos químicos pueden almacenarse en pequeños tubos flexibles y el peróxido en una cápsula dentro del tubo. Para utilizar las marcas, se agita el tubo y la reacción se inicia produciendo luz. Las marcas se fijan a la espalda del animal, para esto es preferible eliminar el pelo y pegarla directamente a la piel. La marca puede ser visible a una distancia de hasta 200 m, y mucho más largas distancias utilizando binoculares. Las marcas luminosas son útiles para delinear los hábitats de forrajeo y los rangos, los patrones de cacería, y las rutas de dispersión. Son ampliamente utilizadas en los estudios sobre ecolocación, y territorialidad para registrar las frecuencias de especies conocidas.

Dispositivos de fijación al cuerpo

Para la identificación temporal de animales, pueden utilizarse gallardetes y discos de colores colocados en diversas partes del cuerpo. En algunos mamíferos, los gallardetes de plástico de diferentes colores pueden ser adheridos a la oreja del animal con una etiqueta de metal. En las aves estos dispositivos pueden ser colocados en las extremidades posteriores, espalda, alas, dígitos y membranas digitales.

Tatuajes en alas y perforaciones

En muchas ocasiones el tatuaje o la perforación de marcas en alas de murciélagos se pierde al regenerarse la piel, por lo que solo se recomienda en estudios a corto plazo, o en la combinación con otras técnicas de marcaje.

Problemas relacionados con el marcaje

Muchas de las técnicas descritas requieren que los organismos sean capturados, lo que involucra la inversión de esfuerzo humano y riesgo de ser lastimados, tanto los animales como los investigadores. Para minimizar lo anterior, es recomendable utilizar dispositivos de marcaje automático o a distancia. Las marcas naturales son útiles para la identificación de los individuos, principalmente cuando la captura y la colocación de marcas es difícil. Los individuos pueden ser identificados por las marcas o patrones de coloración del pelaje, cicatrices, cuernos, entre otras.

Si el marcaje es indispensable para lograr los objetivos del estudio, es necesario que el investigador considere los efectos que la recaptura pueda tener sobre el

animal, así como la permanencia de las marcas durante el período necesario, lo cual asegurará la obtención de los datos esperados, así como la inversión de mayor esfuerzo, tiempo y daño al animal.

Referencias

- Aranda J. M. 1981. Rastros de los mamíferos silvestres de México. INIREB. Xalapa, Veracruz, México.
- Aranda J. M. 1992. Identificación e interpretación de rastros de mamíferos silvestres: curso intensivo. Instituto de Ecología A.C. Xalapa, México.
- Aranda J. M. y March I. 1987. Guía de los mamíferos silvestres de Chiapas. INIREB. Xalapa, Veracruz, México.
- Arita H. T. y Aranda J. M. 1987. Técnicas para el estudio y clasificación de los pelos. INIREB. Cuadernos de divulgación No. 32. Xalapa, Veracruz, México.
- Begon M. 1989. Ecología animal: modelos de cuantificación de poblaciones. Trillas. México.
- Bibby C. J., Burgess N.D. y Hill D. A. 1992. Bird census techniques. Academic Press. London, Inglaterra.
- Dashmann R. F. 1964. Wildlife biology. Methods for studying wildlife. John Wiley and Sons. London, Inglaterra.
- Davis D. E. y Winstead R. L. 1987. Estimación de tamaños de poblaciones de vida silvestre. In: Rodríguez-Tarrés, R. (Ed.). Manual de técnicas de gestión de vida silvestre. Versión en español. The Wildlife Society. EUA. Pp. 233-258.
- Day G. I., Schemnitz S. D. y Taber R. D. 1987. Captura y marcación de animales silvestres. In: Rodríguez-Tarrés, R. (Ed.). Manual de técnicas de gestión de vida silvestre. Versión en español. The Wildlife Society. EUA. Pp. 63-94.
- Downing R. L. 1987. Estadísticas vitales de poblaciones animales. In: Rodríguez-Tarrés, R. (Ed.). Manual de técnicas de gestión de vida silvestre. Versión en español. The Wildlife Society. EUA. Pp. 259-281.
- Eisenberg J. y Thorington R. 1973. A preliminary analysis of a neotropical mammal fauna. *Biotropica*, 5(3):150-161.
- Flores J. S. 1984. Algunas formas de caza y pesca usadas en Mesoamérica. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Cuadernos de Divulgación, 16:1-41.
- Gannon W. L. y Foster M.S. 1996. Recording mammals calls. In: Wilson D.E. (Ed.) Measuring and Monitoring Biological Diversity. Standard Methods of Mammals Smithsonian Institution Press. London, Inglaterra. Pp. 311-326.
- Greenwood J. J. D. 1996. Basic techniques. In: Sutherland W. J. (Ed.). Ecological census techniques. A handbook. Cambridge University Press. Cambridge, Gran Bretaña. Pp. 11-110.
- Gibbons D. W., Hill, D.A. y Sutherland W. J. 1996. Birds. In: Sutherland W. J. (Ed.). Ecological census techniques. A handbook. Cambridge University Press. Cambridge, Gran Bretaña. Pp. 227-259.

- Glanz W. 1982. The terrestrial mammal fauna of Barro Colorado Island: censuses and long term changes. In: Leigh E. E. y Windsor D. (Eds.). *The ecology and tropical forest*. Smithsonian Institution Press, Washington DC, EUA. Pp. 455-468.
- Jones C., McShea W. J., Conroy, M. J. y Kunz T. H. 1996. Capturing mammals. In: Wilson D.E. (Ed.) *Measuring and Monitoring Biological Diversity. Standard Methods of Mammals* Smithsonian Institution Press. London, Inglaterra. Pp. 115-155.
- Kunz T. H., Thomas D. W., Richards G. C., Tidemann C. R., Pierson E. D. y Racey P.A. 1996. Observational techniques for bats. In: Wilson D.E. (Eds.) *Measuring and Monitoring Biological Diversity. Standard Methods of Mammals* Smithsonian Institution Press. London, Inglaterra. Pp. 105-104.
- Mandujano S. 1994. Conceptos generales del método de conteo de animales en transectos. *Ciencia*, 45:203-211.
- Mandujano S. y Gallina S. 1995. Comparison of deer censusing methods in tropical dry forest. *Wildlife Society Bulletin*, 23:180-186.
- Monsby H. S. 1987. Observaciones y registros. In: Rodríguez-Tarrés, R. (Ed.). *Manual de técnicas de gestión de vida silvestre. Versión en español*. The Wildlife Society. Pp. 45-56.
- Papavero N. y Vanzolini P. 1985. *Manual de recolección y preparación de animales*. UNAM. México.
- Rasanayagam R. y Foster M. S. 1996. Conducting a survey to assess Mammalian diversity. In: Wilson D.E. (Ed.) *Measuring and Monitoring Biological Diversity. Standard Methods of Mammals* Smithsonian Institution Press. London, Inglaterra. Pp. 71-79.
- Rasanayagan R. y Kunz T.H. 1996. Methods for marking mammals. In: Wilson D.E., (Ed.) *Measuring and Monitoring Biological Diversity. Standard Methods of Mammals* Smithsonian Institution Press. London, Inglaterra. Pp. 299-310.
- Rasanayagan R., Kunz T. H., Southwell C., Jarma P. y A.P. Smith. 1996. Observational techniques for non volant mammals. In: Wilson D.E., (Ed.) *Measuring and Monitoring Biological Diversity. Standard Methods of Mammals* Smithsonian Institution Press. London, Inglaterra. Pp. 81-104.
- Sanchez O. 1996. Una nueva técnica para capturar mamíferos pequeños sobre árboles, evitando daños forestales. *Vertebrata Mexicana*, 1: 17-23.
- Sutherland W.J. 1996. Mammals. In: Sutherland W. J. (Ed.). *Ecological census techniques. A handbook*. Cambridge University Press. Cambridge, Gran Bretaña. Pp. 260-280.
- Sutherland W.J. 1996. Why census? In: Sutherland W. J. (Ed.). *Ecological census techniques. A handbook*. Cambridge University Press. Cambridge, Gran Bretaña. Pp. 1-10.
- Voss R. y Emmons L. 1996. Mammalian diversity in neotropical lowland rainforests: a preliminary assessment. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 230:1-115.
- Wemmer C., Kunz T. H., Lundie-Jenkins G. y McShea W. J. 1996. Mammalian sign. In: Wilson D.E. (Ed.) *Measuring and Monitoring Biological Diversity. Standard Methods of Mammals* Smithsonian Institution Press. London, Inglaterra. Pp. 157-176.
- Wemmer C. 1996. Techniques for estimating abundance and species richness. In: Wilson D.E. (Ed.) *Measuring and Monitoring Biological Diversity. Standard Methods of Mammals* Smithsonian Institution Press. London, Inglaterra. Pp. 177-234.

White G. C., Anderson D. R., Burnham K. P. y Otis D. L. 1982. Capture-recapture and removal methods for sampling closed populations. Los Alamos. New Mexico, EUA.

10

FLORA Y VEGETACIÓN

José Salvador Flores y Javier Álvarez-Sánchez

Introducción

La palabra flora, se deriva del latín flora, aludiendo a la diosa de las flores. En términos generales significa conjunto de plantas de un país cualquiera y, por extensión, de una porción de mar, de un lago, de un río etc., o de un depósito de agua como por ejemplo de las rosetas foliares de las bromeliáceas, agaváceas o commelináceas, de los intestinos del hombre o de los animales (flora intestinal), etc. También puede interpretarse como “la obra que trata de las plantas, las enumera, las describe o indica donde se crían, cuando florecen, si escasean o abundan, etc. Cuando no se describen las plantas es más correcto emplear otro término como catálogo, enumeración, lista o listado (Font Quer, 1965).

Cuando es empleada la palabra florístico o florística no siempre se refiere a la flora y si hablamos de un estudio florístico, la referencia es a una parte de la fitogeografía dedicada a los inventarios y a las entidades sistemáticas de un país, dando el área de cada una de ellas e indicaciones relativas a su hábitat, abundancia o escasez, época de floración (fenología), forma de vida y distribución espacial. Para ampliar la temática se recomienda consultar a Cain (1951), Cain y de Oliveira-Castro (1959), Cruz-Pérez (1964), Emmel (1975), Miranda (1978), Daubenmire (1979), Matteucci y Colma (1982), MacNaughton y Wolf (1984), López et al. (1985), Crawley (1986), Krebs (1989, 1993), Flores (1993), Flores y Espejel (1994), Begon et al. (1996) y Flores y Tun (1997).

Para conocer la flora de un lugar, necesariamente hay que estudiarla y en los métodos que se usan para lograr este objetivo, la toma de la muestra es fundamental; saberla realizar garantiza los resultados. A la forma de tomarla o la manera de obtención de la muestra es a lo que se le llama “técnica de muestreo”.

El muestreo puede ser para la toma de una muestra de vegetación acuática tal como la de un pozo, lago o mar, un río, un cenote o el límite de un cuerpo de agua, como la periferia de lagos y ríos. Este es un parámetro a considerar, pero pueden haber otros factores que deban tomarse en cuenta para lograr obtener una buena muestra, tales como son los recursos humanos y materiales con los que se cuenta y desde luego, el objetivo mismo del estudio. Así, si se dijera que “la muestra de agua del cenote X” la queremos a determinada profundidad, llevaría a pensar en la “técnica a emplear” o como se va a tomar, la cual sin lugar a dudas sería diferente a que se realizarla en la superficie.

En este trabajo se trata de dar las instrucciones para la toma de muestras para desarrollar un estudio de vegetación. En este sentido, se debe conocer con claridad el objeto de estudio y la descripción de las técnicas de muestreo apropiadas.

Con los estudios florísticos se pretende conocer el conjunto de plantas de un área específica (flora), la cual incluye poblaciones o incluso comunidades, por lo que deberán estar claros conceptos tales como fisonomía y estructura de la vegetación, así como las propiedades emergentes de una comunidad. Para lograr lo anterior se recomienda consultar las siguientes referencias: Rosales *et al.*, (1973), Flores y Rosales (1978), Rzedowski (1978), Daubenmire (1979), Moreno (1984), Sosa et al. (1985) y Krebs (1993).

Previo al muestreo

Una vez definidos los objetivos del estudio, se deberá establecer la metodología que se empleará para darles cumplimiento, lo cual llevará a confirmar o negar la hipótesis planteada respecto a la investigación.

Primero hay que establecer el sitio que se va a muestrear, ya sea un bosque, una selva, una sabana, un seibadal (vegetación submarina), un terreno abandonado, vegetación riparia (en la orilla de río), una laguna, una ríada (laguna costera o ciénaga), etc. Para los tipos de vegetación en México se pueden consultar los trabajos de Miranda y Hernández X. (1963), Rzedowski (1978), Miranda (1978) y Flores y Espejel (1994). Es conveniente haber hecho recorridos y conocer el lugar de estudio, lo cual será muy importante para determinar que tipo de muestreo se empleará.

Teniendo claridad en la temática, en la hipótesis y en los objetivos, se define la metodología a emplear. Es conveniente ensayarla por si hay necesidad de hacer modificaciones.

En importante tener claro que datos se tomarán a los diferentes componentes florísticos. Los datos más necesarios se señalan en las fichas o etiquetas; una se

refiere a los estudios florísticos y la otra a los estudios etnobotánicos, es decir, con respecto al uso y manejo de las plantas de las comunidades. En dichas fichas quedan anotadas las características más importantes de las plantas. Los datos anotados en las fichas, deben estar respaldados y acompañados con muestras de las plantas estudiadas; dichas muestras le dan validez al estudio y deben ser depositadas en los herbarios (Flores y Tun Garrido, 1997).

El material y equipo convencional para realizar los muestreos incluye: libreta de campo, estacas, zapapicos, etiquetas colgantes, geoposicionador, machetes, bolsas de plástico, brújula, geoposicionador (GPS), sogas, cinta métrica larga y corta, alcohol, papel periódico, higrómetros, tijera de podar, formol, prensa de madera, termómetro, botas, glicerina, lupa, etiquetas de campo, botiquín, microscopio estereoscópico, cámara de vídeo, correa para amarrar, suero antiviperino, computadora con el software adecuado (si es posible), cámara fotográfica, lápiz grueso.

Para el estudio de la flora en selvas se requiere como información de campo (Richards *et al.*, 1940 y Richards, 1957, modificado) la localización del sitio a estudiar, establecer el tamaño y naturaleza del área y datos físicos que caractericen el área.

Localización del lugar a estudiar y preparación de las muestras. Los datos más importantes a tomar son: nombre y localización del sitio, de ser posible con geoposicionador; nombre dado a la comunidad vegetal (especies dominantes o características); nombre popular o nativo de las plantas; orientación del lugar; identificación del material botánico y preparación de las muestras para herbario.

Tamaño y naturaleza del área. Se sugiere que no sea menor a 0.5 ha. Opcionalmente se puede considerar ampliarla siempre y cuando se cuente con los recursos necesarios para ello.

Datos físicos. Los datos mínimos son: altitud sobre el nivel del mar, exposición o la luz, si es un cerro, volcán, ladera, aguada, cenote ó rejollada, pendiente. Destacan por su importancia en la caracterización el obtener datos precisos del clima del área, del suelo y subsuelo, sobre el estado sucesional presente y otros factores importantes, como si existen evidencias de manejo agrícola previo. Todos estos datos son importantes para obtener la fisionomía.

Clima

Es importante obtener los siguientes datos de las estaciones meteorológicas más cercanas, haciendo notar la distancia que hay entre la zona de estudio y dichas estaciones y si existe además algún factor fisiográfico que pueda provocar alguna diferencia de las condiciones climáticas entre los dos puntos; es recomendable

hacer climogramas. Los datos a tomar y graficar son: Temperatura media de los meses más caliente y más frío; máxima, mínima y absolutas registradas así como las temperaturas medias mensuales. Otro dato importante a considerar es la precipitación media de cada mes; duración del período o períodos secos, promedio de días consecutivos sin precipitación; vientos dominantes y vientos periódicos de importancia, su dirección y cualquier dato relacionado con esto, registrado en la misma localidad o en sus cercanías, tales como afectaciones por huracanes. Para lo relacionado con la toma y manejo de los datos climáticos es conveniente consultar a García (1973).

Suelo y subsuelo

Los datos del suelo son importantes en los estudios florísticos, los que deben tomarse son: Tipo o tipos de roca; estructura del suelo; describir la capa de humus; hojarasca superficial, naturaleza y profundidad; perfil del suelo, con medición de los horizontes distinguibles, así como color, textura (arena, arcilla, etc.) y profundidad de raíces. Si es posible hacer análisis físicos y químicos, debe registrarse claramente a la profundidad a que fueron tomadas las muestras. Los datos más importantes son: pH, capacidad de Intercambio cationico, densidad, materia orgánica, nitrógeno y potasio.

Otros factores importantes

Al igual que el clima y el suelo, en las caracterizaciones florísticas es importante establecer si el área ha sido cultivada alguna vez. Obtener datos acerca de dicho cultivo (permanente, de temporal o nómada; periodos de siembra y métodos) así como fechas de abandono son útiles para entender el estado actual de la vegetación. Es importante tomar cualquier dato sobre el uso y manejo que haya tenido la vegetación.

De la misma manera, algunos factores pueden ayudar a entender el estado actual de la vegetación. Incluimos aquí a todos aquellos eventos en que directamente la mano del hombre, de sus actividades o de organismos silvestres (principalmente fauna) han tenido que ver con el compartimiento florístico, como por ejemplo: tumba de árboles; actividades de pastoreo; presencia o ausencia de termitas y efectos en la vegetación; herbivoría y ramoneo de animales silvestres (insectos y otros organismos) y quemas, accidentales o inducidas y sus efectos en la flora, uso de insecticidas y herbicidas.

Sucesión

Es el recambio de especies en el tiempo y el espacio, y como respuesta a factores de disturbio unas especies van siendo sustituidos por otras y marcan la estabilidad aparente o inestabilidad del bosque; observaciones del cambio de abundancia de especies dan inferencias al respecto. Este proceso es importante conocerlo en los estudios florísticos y el muestreo para cada etapa seral debe ser el apropiado.

Casi en su totalidad, las sucesiones secundarias resultan de las actividades del hombre y, en consecuencia, son las más comunes y fáciles de observar. Estas pueden estudiarse en suelos baldíos, a orillas de carreteras y en cultivos abandonados.

Las comunidades sucesionales de vegetación que siguen a la desaparición de la vegetación permanente en un área, varían de acuerdo con el clima, el suelo y el estado y causas de la destrucción de la vegetación original. Los suelos quemados o sometidos a tala, por lo general son colonizados inmediatamente por hierbas y gramíneas. Las etapas siguientes, de no intervenir el hombre, están en gran medida determinadas por el clima del área. Asimismo, en los campos agrícolas abandonados, la repoblación se inicia con una etapa de plantas anuales, pasando luego por etapas dominadas por malas hierbas perennes hasta que se establece la vegetación permanente. En el trópico y en México estos estudios son de gran interés debido a que cada día se destruye las selvas y bosques.

El estudio de sucesiones secundarias en campos agrícolas es de interés para el agrónomo y para el biólogo, ya que las etapas o especies dominantes en un momento dado indican condiciones del suelo, grado de fertilidad, tratamientos previos y número de años bajo cultivo o abandonados.

Como práctica de campo se puede estudiar la repoblación de terrenos desnudados. Las parcelas de estudio pueden ser desnudadas de diferentes maneras (quema, remoción, etc.). Éstas deben ser permanentes, bien delimitadas y protegidas, de manera que la sucesión vegetal pueda observarse y estudiarse por varios ciclos después de aplicado el tratamiento.

Composición florística

La fidelidad de los nombres establecidos por comparación puede variar considerablemente. Así: a) puede ser que la especie no haya sido colectada por el observador y la identificación se ha basado únicamente en el nombre común, el nombre científico se obtuvo de listas de sinonimias en las que el nombre científico se le ha dado a una especie colectada a gran distancia de la zona que se trate; b) la especie pudo haber sido colectada en la misma localidad pero no en el mismo

sitio de muestreo; c) la especie fue colectada en el mismo sitio de muestreo. Es obvio que el valor de la comparación del ejemplar colectado con el de la sinonimia aumenta la fidelidad.

Con el material colectado e identificado debe elaborarse una lista de todas las especies, ya sea que se conozcan o no sus nombres; cada estrato debe ser enlistado por separado. Cuando haya ciertas especies que el investigador no pueda identificar, debe hacerlo notar así. Algunos autores recomiendan para estudios “detallados”, la realización de diagramas de vegetación en una franja de unos 5 x 20 m.

Vegetación

Estructura y composición

La vegetación debe ser caracterizada por su fisionomía, cuyo estudio a la vez es indispensable para la comprensión de su naturaleza y distribución. Es la estructura y composición de una comunidad vegetal lo que debemos conocer y registrar en las muestras como una base segura de datos florísticos. Se debe distinguir la estructura tanto en el sentido vertical (estratificación) como en el horizontal (espaciación). Los puntos a registrar son los siguientes:

- a) Doseles abiertos o cerrados: si son abiertos, la amplitud aproximada de los espacios o el porcentaje aproximado de áreas sombreadas o no sombreadas; es útil tener también datos de las especies dominantes en los parches donde se observe alguna etapa seral.
- b) Espaciamiento uniforme o irregular de los árboles: distancias entre troncos; diámetro de los troncos de las especies aparentemente maduras.
- c) Descripción general de la estratificación: cuántos estratos se pueden distinguir claramente. Enumérelos.

Se pueden usar los siguientes estratos:

- a) Estrato de árboles emergentes-discontinuo;
- b) Estrato de árboles dominantes (un estrato continuo sólo puede ser formado por un estrato de árboles bajos);
- c) estrato o estratos subordinados;
- d) estrato arbustivo;
- e) estrato rasante,
- f) hierbas grandes, helechos y arbustos pequeños; e”) helechos pequeños, selaginelas y hierbas;

- g) estrato rasante (musgos). Todos o algunos de estos estratos pueden no estar presentes en alguna asociación pero nunca el estrato dominante (en bosques cerrados).

Existen varias recomendaciones pertinentes. Realizar una descripción separada de cada estrato bien definido, con el rango de altura de su follaje sobre el terreno. Cuando no existan estratos distintos, es conveniente llevar a cabo una descripción general de la estructura en el sentido vertical con los rangos de altura de los componentes. Anotar si se observan asociaciones, es decir, agregaciones locales de individuos de especies observados en cualquier estrato. Anotar si hay lianas y la altura a la que ascienden; epífitas: presencia y frecuencia, distribución en altura y distancia a la que descienden.

Descripción de la vegetación

La vegetación puede caracterizarse de acuerdo a su fisonomía o por las especies que la componen (florística) (Rzedowski, 1978). Los métodos fisonómicos o estructurales pueden hacerse sin identificación de especies y con frecuencia se consideran más importantes en estudios a pequeña escala que pueden ser representativos de grandes extensiones (Matteucci y Colma, 1982). Por el contrario, los métodos basados en la florística son muy útiles cuando se utilizan en estudios globales o en áreas pequeñas, o en estudios detallados de naturaleza botánica; los fitosociólogos europeos generalmente los utilizan en estudios de grandes extensiones (Matteucci y Colma, 1982).

Medidas basadas en la fisonomía

La fisonomía se refiere a la apariencia externa de la vegetación en cuanto a altura, color, exuberancia, forma y tamaño de las hojas (golpe de vista de la vegetación). Estos atributos tienden a ser el resultado de la combinación de caracteres funcionales y estructurales. Los primeros juegan un papel adaptativo para la sobrevivencia, como el hábito perennifolio o deciduo. Los segundos se refieren al arreglo vertical u horizontal de las plantas, como por ejemplo el espaciamiento entre individuos. Los caracteres fisonómicos son difíciles de aislar, ya que por ejemplo el tamaño de las hojas puede ser una adaptación funcional a ciertas condiciones climáticas, o producto de la edad del individuo, o bien un resultado del sombreado cuando la planta está en el sotobosque. Existen tres grandes grupos de medidas basadas en la fisonomía:

Formas de vida

Existen al menos dos clasificaciones distintas, una que llamaremos general y la de Raunkiaer.

Clasificación general. Las formas biológicas o de crecimiento se refiere a la forma general de la planta, su tamaño y la forma en que está distribuido en general el tejido leñoso. Las formas más reconocidas son: Árboles (T); arbustos, arbustos escandentes (A); hierba (erectas, bejucos o enredaderas, trepadoras, rastreras) (11); vegetales muscinales (M); plantas epífitas (E); lianas (l) y palmas (P) (las letras y números son formas de representarlas, éstas pueden variar).

Clasificación de Raunkiaer. Se basa esencialmente en dos características fisonómicas de la vegetación, la posición de las partes regeneradoras de las plantas y el tamaño de las hojas. El sistema se ha utilizado para comparar las formas de vida características de diferentes regiones del mundo y también para demostrar cambios progresivos en la vegetación tanto con respecto a la altura como a la latitud. Las formas de vida de Raunkiaer (1934, en Crawley 1986) son:

- **Fanerófitos (P):** Con yemas muy altas y expuestas a los cambios del clima según la altura del suelo que alcancen, se pueden dividir en: Megafanerófitos (Pg) más de 25 m; Mesofanerófitos (Pm) de 10-25 m; microfanerófitos (Pp) de 2-10 m; minofanerófitos (Pn) de 0.5-2.00 m; fanerófitos trepadores (Ps).
- **Camefitos (Ch):** Plantas herbáceas o leñosas bajas, con las yemas cercanas al suelo.
- **Hemicriptófitos (H):** Plantas de rápido crecimiento en épocas favorables al final de las cuales la parte aérea muere hasta el nivel del suelo y ahí se localizan las yemas vegetativas.
- **Geófitos (G):** Las yemas vegetativas en este tipo de plantas se encuentran bajo el nivel del suelo.
- **Terófitos (Th):** Plantas anuales cuyas semillas germinan sólo en épocas favorables para el crecimiento vegetativo y reproductivo.
- **Epífitos (E):** Especies vegetales que crecen sobre otras plantas.
- **Plantas de tallos suculentos (S):** Este tipo de plantas se incluye a veces en los fanerófitos o en los cameófitos.
- **Hidrófitos (HH):** Plantas acuáticas, consideradas por muchos autores como geófitos, sin embargo algunas de estas especies son más similares a hemicriptófitos o terófitos.

Raunkiaer aplicó este sistema a la vegetación de diferentes regiones del mundo y encontró que en las regiones tropicales cálidas húmedas hay una predominancia de fanerófitos; en las zonas secas de terófitos y en las templadas húmedas de hemicriptófitos. A este rango de formas de vida los denominó espectro biológico. Además, Raunkiaer determinó la forma de vida de 1000 especies escogidas al azar y sugirió que este espectro normal se tomara como patrón de comparación.

Formas y valores para designar el patrón de Raunkiaer.

Este patrón normal se compone de los siguientes valores:

P...46 Ch...9 H...26 G...6 y Th...13. El índice de discrepancia de este patrón normal indica las áreas climáticas fanerofíticas, hemicriptofíticas, camefíticas y terofíticas que se pueden encontrar en las diferentes áreas.

Tamaño de las hojas

Raunkiaer utiliza, en combinación con su sistema de formas de vida, una clasificación del tamaño de las hojas con una división en las 6 categorías siguientes: 1) Leptófilo de 25 mm², 2) Nenófilo 225 mm², 3) Micrófilo 2,025 mm², 4) Mesófilo 18,222 mm², 5) Macrófilo 164,025 mm², 6) Megáfilo más de 5 mm². Antes de asignar las hojas a estas categorías de tamaño se dividen en caduca o perennes, simples o compuestas; tanto estas divisiones como las de tamaño se expresan en valores porcentuales.

Periodicidad

Se refiere a las fases de crecimiento de la vegetación o de cada una de las especies, lo cual es más obvio en climas con un componente estacional. Se puede registrar el carácter perennifolio o decíduo, las fases vegetativas o de floración. Un ejemplo de este caso es el de la Península de Yucatán en donde debido a la estación seca (Noviembre-Abril) la vegetación pierde las hojas.

Actualmente se utiliza mucho la construcción de diagramas fenológicos. La fenología (Begon *et al.*, 1996) se refiere a los cambios que sufren estructuras de la planta a lo largo de su ciclo de vida hasta perderse por muerte natural, como lo son el caso de las hojas, flores y frutos. Una forma de hacerlo, es asignando por árbol, y a su vez un promedio por especie, del porcentaje de hojas, flores y frutos que están en estado joven, maduro o senil. Estas observaciones se hacen periódicamente.

amente, y se construye un fenograma colocando en el eje de las abscisas el tiempo (ó la época del año), y en el de las ordenadas el porcentaje respectivo.

Estratificación

Es la disposición vertical en que se encuentran las plantas (Begon *et al.*, 1996). Su representación visual nos permitirá elaborar un diagrama que se conoce como perfil de la vegetación o diagramas de perfil (Matteucci y Colma, 1982). Para ello se representa un rectángulo del bosque dibujando a escala las plantas que se encuentran dentro de él. De ésta forma, se toman los parámetros más importantes de todos los árboles que se observan dentro del rectángulo: diámetro del tronco, altura del árbol (con un clisímetro), altura del fuste hasta la primera ramificación, límite inferior de la copa y diámetro de la copa. Es una representación a escala.

Otro tipo de perfil de la vegetación es el propuesto por Montoya-Maquín *et al.* (1971). En este caso se le asignan símbolos a cada categoría fisonómica estructural. El perfil de la vegetación es representado por éstos símbolos en una gráfica, en la cual la altura se grafica en el eje de las ordenadas. Las categorías y símbolos empleados en los Danserogramas pueden consultarse en Matteucci y Colma (1982).

Una variante son los diagramas estructurales, que son gráficas de barras que reflejan la estratificación de las comunidades. En el eje de las ordenadas se grafica la altura de las especies y en el eje de las x la respectiva cobertura (en porcentaje); las distintas categorías se identifican con letras (Matteucci y Colma 1982).

Los rangos de tamaños más usados son: 1= plantas hasta 0.1 m; (2) = plantas de 0.1 hasta 0.5 m; (3) = plantas de 0.5 hasta 2.0 m; (4) = plantas de 2.0 hasta 4.0 m; (5) = plantas de 4.0 hasta 7.0 m; (6) = plantas de 7.0 hasta 10.0 m y (7) = plantas de más de 10 m.

Es importante comentar que muchas veces en un estudio estructural se toma como criterio una medida mínima de DAP (Diámetro a la Altura del Pecho) del tronco de los árboles usualmente de 10 cm. Para el DAP lo que se hace es medir la circunferencia (el perímetro) y en tablas especiales se hace la conversión.

Medidas basadas en la florística

Métodos destructivos

Como su nombre lo dice, en éste caso se destruye a las plantas que se encuentran dentro de la unidad muestreada. La medida más común que se puede obtener es el

peso fresco (g) el cual puede variar con la humedad, por lo que es mejor determinar el peso seco después de secar la muestra en un horno por al menos 48 hs a 40 oC. No es deseable si se requieren muestras adicionales (por ejemplo en el caso de plantas anuales), si el área es de interés biológico o si cualquiera de las especies es rara o está en peligro de extinción. Las medidas más comunes son peso fresco (varía con la humedad) y peso seco.

Métodos no destructivos

Incluye cinco métodos: de densidad, de cobertura, de frecuencia, área basal y de distancia.

1. El de densidad se refiere al número de individuos por unidad de área.
2. El de cobertura se refiere a la superficie (en m²) que cubre del suelo la copa de la planta. En general se mide un diámetro mayor y un diámetro menor en sentido perpendicular; el radio promedio se usa para calcular la superficie. La cobertura total de la especie será la suma de las coberturas de los individuos. La cobertura total de los individuos de una especie puede ser interrumpida (i) o continua (c). Se utilizan las siguientes categorías (en porcentaje de proyección de la copa en el estrato respectivo): $i_1 = 0-20\%$; $i_2 = 21-40\%$ e $i_3 = 41-60\%$. Cuando la cobertura es continua, se utilizan dos categorías (en porcentaje de proyección de la copa en el estrato respectivo): $C_4 = 61-80\%$ y $C_5 = 81-100\%$.
3. El de frecuencia se refiere a si un individuo de una especie aparece en una unidad muestral; así, la medida se refiere a en cuántas de las unidades muestrales apareció al menos un individuo de la especie en cuestión, dividido entre el número de unidades muestrales totales. Es importante tomar la decisión si se considerará que el individuo pueda o no tener su raíz dentro de la unidad muestral:

$$f = \sum N_i / \sum nt$$

Donde:

f = Frecuencia

$\sum nt$ = Sumatoria del total de cuadrados muestreados.

$\sum n_i$ = Sumatoria del total de cuadrados que presenta la muestra.

Se puede medir a través de:

- i. Gradilla. Es un marco de madera en la que se colocan alambres que se deslizan verticalmente desde la parte superior hacia el piso. Se usa en vegetación herbácea.
- ii. Bastidor. Es un cuadro de madera o aluminio, generalmente de 1m x 1m. Se divide en cuadros de 10 cm x 10 cm con hilo nylon; se usa más para medidas en bancos de plántulas.
- iii. El uso de cuadros como unidades muestrales.
 4. El de área basal se refiere al área del tronco de la planta, o a la suma de las áreas de los tallos si es que la planta tiene varios. En general en el campo es más fácil medir el perímetro del tronco, por lo que el dato hay que transformarlo después a área.
 5. El de distancia. Propuestos por Clark y Evans (1954, en Krebs 1989). Existen las siguientes modalidades:
 - i. El vecino más cercano. En el área de estudio, se elige un individuo al azar, y se toman los datos de interés con su “vecino” que se encuentre más cerca.
 - ii. El individuo más cercano. La diferencia en éste caso es que se debe seleccionar un punto al azar, y se mide el individuo que este más cerca a éste punto.
 - iii. Pares al azar. Se coloca una cuerda en el campo, cuya longitud dependerá de la estructura de la comunidad, y se van muestreando alternadamente los individuos más cercanos a cada lado de la cuerda. En el siguiente apartado se describe con detalle este método.
 - iv. Cuadrantes. En el campo se pone con dos cuerdas un sistema de cuadrantes y en cada uno de los cuatro cuadrantes se selecciona al individuo que se encuentre más cerca del origen. En el siguiente apartado se describe con detalle este método.

Métodos de muestreo

Ya sea que las medidas sean destructivas o no, se requiere de una unidad de muestreo, usualmente un cuadro. Cómo distribuirlos depende de la naturaleza del problema, la morfología de la especie, su patrón y el tiempo disponible para realizar el trabajo. Los cuadros pueden distribuirse por los siguientes métodos:

Representativo(*subjetivo o selectivo*). Se arreglan los cuadros subjetivamente en áreas representativas. En este caso es importante tener en mente consideraciones prácticas como por ejemplo el acceso al sitio.

Al azar. Los muestreos sean cuadros o transectos, se hacen al azar ya sea que se siga una orientación o no.

Regular o sistemático. Se sigue un esquema en el que se toman parámetros de medidas ya sea siguiendo una línea, o unidades muestrales seleccionadas de una manera sistemática.

Restringido al azar. *Es una combinación entre los métodos al azar y sistemático. El área se divide y en cada subdivisión se muestrea al azar. Demanda más tiempo porque hay que marcar el área.*

Transecto. El transecto o las secciones longitudinales de vegetación, consiste de una faja ininterrumpida de vegetación para tomar muestras y estudiar la composición florística donde existe mucha variabilidad en la vegetación como resultado de diferencias ambientales. El ancho del transecto se determina en base al tipo de vegetación; cuando ésta es predominantemente herbácea las secciones longitudinales pueden ser de 1 dm de ancho, mientras que en vegetación boscosa pueden ser hasta de 20 m de ancho.

Este método de análisis de vegetación es conveniente para realizar mapas de vegetación porque señalan claramente las transiciones entre comunidades o diferencias en la flora como resultado de diferencias en humedad, temperatura, altitud o de suelos.

Una modificación a este método consiste en dividir el transecto en parcelas a intervalos predeterminados, convirtiéndose en uno de cuadrículas. Los datos y los análisis en este método y su modificación se manejan en forma similar al método de las cuadrículas.

Estratificado. Se divide al campo de estudio en partes homogéneas y en cada uno se muestrea de acuerdo a su área. Por ejemplo, un mosaico de pastizal y matorral se divide en dos, y se muestrea cada uno por separado. Así, puede decirse que el reconocimiento de distintas comunidades es una forma de muestreo estratificado.

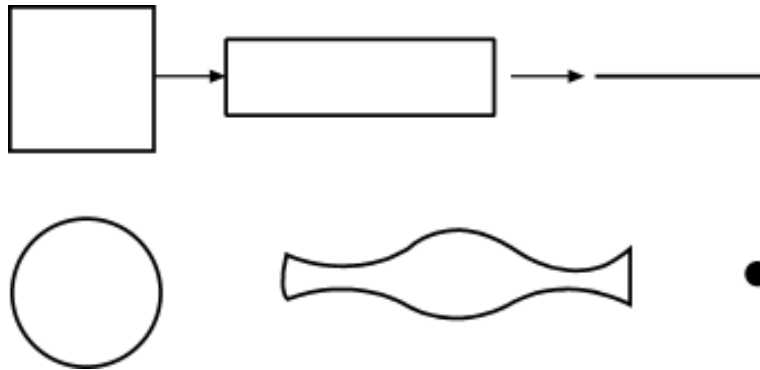
Número y tamaño de los cuadros. Entre los problemas más comunes que pueden presentarse con cualquier método de muestreo se encuentran:

- a. El número de cuadros que deben utilizarse. Una forma de decidir puede ser atendiendo dos recomendaciones: 1) Entre más cuadros sean, es mejor; y 2) Gráficar la varianza o la media acumulada de cada una de las variables medidas, con respecto al número de cuadros. El comportamiento de las curvas indicará si el número de cuadros es adecuado o se requiere incrementar.

- b. Tamaño del cuadro. En general se utiliza de 10 x 10 m para árboles, de 5 x 5 m para arbustos y de 1 x 1 m para herbáceas y plántulas.
- c. Forma del cuadro. Por tradición, son cuadrados, aunque en la práctica el término podría aplicarse para cualquier unidad de muestreo, sea circular o hexagonal, por ejemplo (Fig. 1).

Con respecto al tamaño y a la forma del cuadro, lo importante es que den la más alta precisión estadística para un área dada, y que ecológicamente ayuden a responder de la mejor manera la pregunta planteada (Krebs, 1989).

Figura 1



Unidades muestrales: cuadro y rectángulos, círculo (Patrones de referencia en muestreos).

- d. Área mínima. Se determina en función de la composición o de la frecuencia de especies. Según el método basado en la composición de especies, se elabora una gráfica poniendo como variable independiente (“x”) el área acumulada, y como variable dependiente (“y”) el número acumulado de especies. El área mínima a muestrear es la proyección sobre el eje de la parte de la curva donde ésta se estabiliza. En el método basado en la frecuencia de especies, el número de especies con más de 90% de frecuencia en cada tamaño de cuadro es referido como el número de constantes. Éste se grafica contra el tamaño del cuadro (como en el método anterior); el área mínima es aquella en la cual se presenta el número total de constantes.

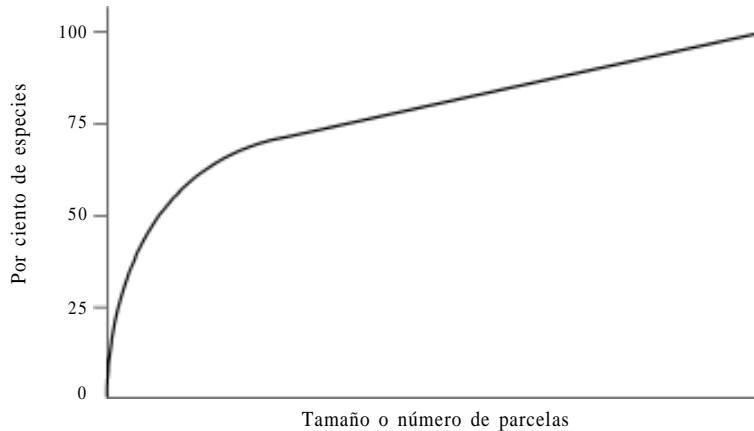
Muy raras veces la comunidad vegetal es homogénea, por lo tanto, es necesario tomar muestras de tamaño y número adecuados para incluir toda la variación florística, cuantitativa y cualitativa de la comunidad. Esto es, en el sentido de la vegetación siempre se confronta el problema de determinar qué tamaño y número de parcelas (cuadros) son necesarias para obtener una muestra representativa.

Sobre este particular se ha escrito mucho, sin embargo, el método que más se emplea para afrontar este problema es el de la relación especies-área, mejor conocida como la curva especies-área.

Se ha demostrado que el número de especies de una fracción de un rodal o comunidad está relación casi directamente con el tamaño de la misma. En consecuencia, al aumentar la superficie de muestreo aumenta el número de especies, de tal manera que la curva que relaciona esos valores se eleva rápidamente al principio, para luego hacerlo muy imperceptiblemente en forma casi horizontal, según se demuestra en la Fig. 2. Esta relación se ha utilizado para determinar el tamaño y número de las parcelas que proveerán muestras adecuadas.

Para determinar el tamaño apropiado de las cuadrículas. Cuando una serie de cuadrículas van a constituir una muestra, se recurre a un sistema de división de parcelas de cualquier tamaño para la obtención progresiva de datos sobre especies nuevas (Fig. 3). Sin embargo, para estimar el número mínimo de cuadrículas necesarias para obtener muestras adecuadas, se mantiene el tamaño de la parcela constante y se aumenta progresivamente el número de las mismas.

Figura 2

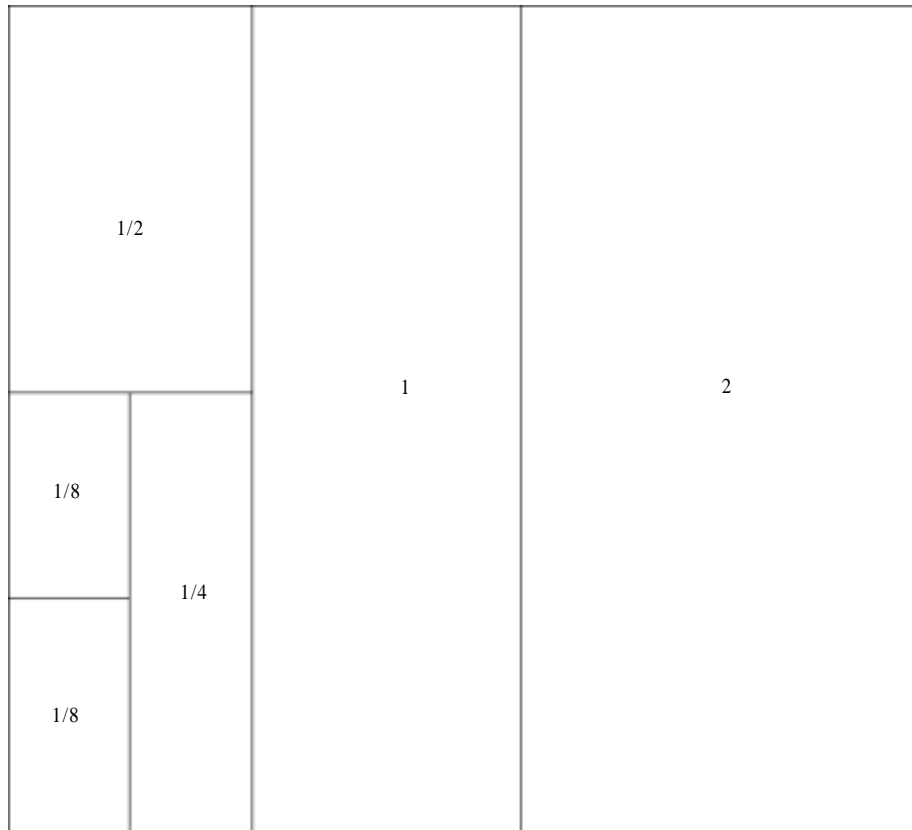


Representación gráfica de la relación especies-área realizada para determinar el número mínimo de cuadrículas necesarias para obtener una muestra representativa (Adaptado de Braun-Blanquet, 1950).

Por lo anterior, se prepara un listado de las especies registradas, determinando las especies nuevas que van apareciendo en los incrementos de área o número de parcelas y añadiéndolas a la lista original, pero manteniendo los datos separa-

dos. Con estos datos se dibuja la curva especies-área, llevando a los ejes de coordenadas el número de especies nuevas obtenidas en función del área sobre la que se tomó la muestra o del número de cuadrículas, según sea el caso (Figs. 4 y 5).

Figura 3



Sistema de división de parcelas de cualquier tamaño para la obtención progresiva de datos para determinar el tamaño más conveniente de cuadrícula mediante la relación especies-área (adaptado de Oosting, 1951).

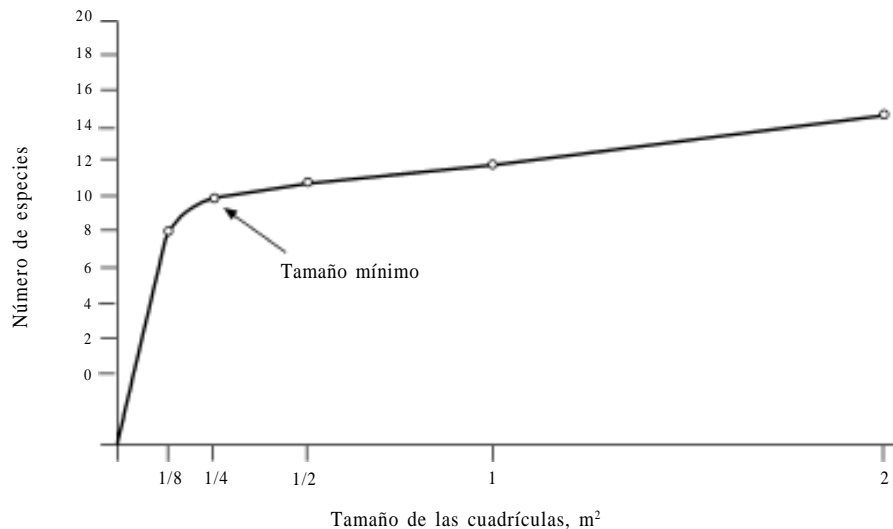
Para determinar el tamaño y número de cuadrículas, con base en la curva especies-área, se han sugerido los siguientes criterios o métodos:

Por inspección de la curva. El tamaño y número adecuado es el correspondiente al punto donde la curva se endereza notablemente, según se señala en la Fig. 4. La muestra se considera adecuada cuando un aumento de 10 por ciento en el área de muestra resulta en un aumento de 10 por ciento de las especies con respecto al número total de especies presentes.

Método mecánico. Coloque un triángulo recto de tal forma que uno de sus lados pase por el punto "O" y por el punto correspondiente al 10 por ciento del área y el 10 por ciento de las especies. Luego se corre hacia arriba a lo largo de una regla junto al otro cateto, hasta que el lado inferior sea tangente a la curva. El punto de tangencia representa la región en que se mantiene la relación del 10 por ciento. Sí se desea mayor exactitud se puede colocar el punto en el 5 por ciento de aumento en las especies para un aumento de 10 por ciento en el área de la muestra (Fig. 5).

La combinación de estos métodos resulta útil para interpretar las curvas especies-área y seleccionar el tamaño y número más apropiado de cuadrículas para obtener muestras confiables.

Figura 4



Curva especies-área para determinar el tamaño mínimo de las cuadrículas.

Métodos sin área

En el estudio analítico de la vegetación hay ocasiones en que no se puede aplicar el método de la cuadrícula para tomar muestras. Esto ha dado lugar al desarrollo de métodos que emplean distancia, en lugar de área, que también se conocen como métodos sin área (Matteucci y Colma, 1982). Entre estos métodos los más usados son: el de pares al azar y el de cuadrantes. En estos métodos se trata de evaluar el espacio o área ocupada por una planta en vez de su abundancia. El área

que ocupa un individuo se denomina área promedio y resulta ser el recíproco de la densidad.

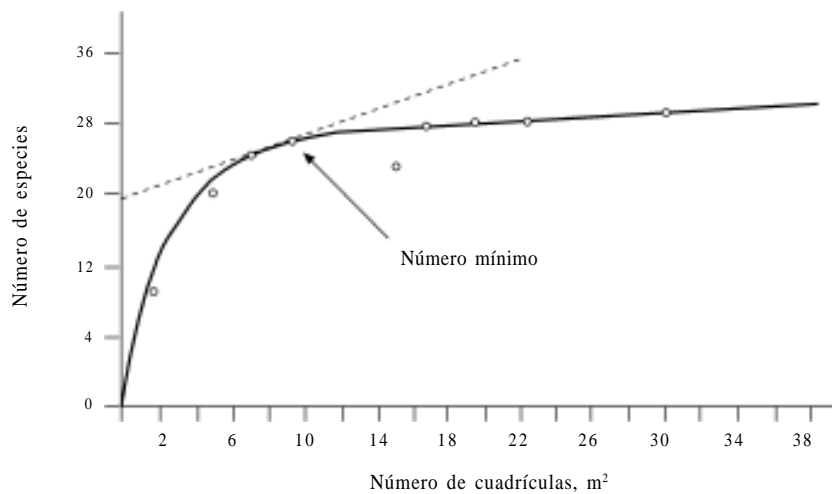
Método de pares al azar

Este método se utiliza en vegetación boscosa y consiste en determinar una línea (recta o en zig-zag) en el área de estudio. Luego a lo largo de la línea se localizan una serie de puntos de muestreo a intervalos fijos, pero que garanticen que en cada punto se midan árboles diferentes. Una variante a este sistema es determinar los puntos de muestreo al azar.

En el primer punto de la línea se escoge el árbol más cercano al mismo (Arbol A), se identifica su especie y se determina su diámetro o circunferencia a la altura del pecho para calcular su área basal. El segundo árbol del par (Arbol B) será el más cercano al Arbol A, que se encuentre en el sector 180° opuesto al árbol A del otro lado de la cuerda (Fig. 6). Una vez determinado el segundo árbol del par, se identifica, se determina su área basal y se registra la distancia entre los árboles A y B. El mismo procedimiento se repite en los demás puntos de muestreo, que deben ser alrededor de 50.

Con los datos obtenidos se pueden calcular varias características de la vegetación aplicando las siguientes fórmulas:

Figura 5



Curva especies-área para determinar el número mínimo de cuadrículas.

Densidad relativa (abundancia) (A):

$$A = \frac{N}{T} \times 100$$

Donde:

N = Número de individuos de cada especie.

T = Total de individuos.

Frecuencia absoluta (F):

$$F = \frac{Po}{Npo} \times 100$$

Donde:

Po = Número de puntos de ocurrencia de la especie.

Npo = Número total de puntos.

Frecuencia relativa (Fr):

$$Fr = \frac{F}{\Sigma F} \times 100$$

Donde:

F = Frecuencia absoluta.

ΣF = Sumatoria de las frecuencias de todas las especies.

Dominancia relativa (Dr):

$$Dr = \frac{Ae}{At} \times 100$$

Donde:

Ae = Área basal de cada especie.

At = Área basal del total de especies.

Distancia promedio (d):

$$d = \frac{D(0.8)}{\Sigma Dt}$$

Donde:

ΣD = Sumatoria de todas las distancias.

(0.8) = Factor de corrección para poder obtener la raíz cuadrada de la distancia promedio.

Este factor se omite en el método de los cuadrantes.

Dt = Número total de distancias.

Area Promedio/Individuo (Ap):

$$Ap = (0.8 \infty d)^2$$

Donde:

d = Distancia promedio.

(0.8) = Factor de corrección.

Densidad (Número de Individuos por Ha) (DHa):

$$DHa = \frac{43,560 \times 2.5}{(0.8 \times d)^2}$$

Donde:

d = Distancia promedio.

(0.8) = Factor de corrección.

Índice de importancia (IP):

$$IP = A + Fr + Dr$$

Donde:
A = Densidad relativa.
Fr = Frecuencia relativa.
Dr = Dominancia relativa.

Método de los cuadrantes

El método de los cuadrantes es una modificación más eficiente del método de pares al azar, que se utiliza en el estudio y análisis de vegetación boscosa. Consiste en seleccionar una serie de puntos de muestreo en el área de estudio, utilizando un procedimiento adecuado, que puede ser al azar o fijando los mismos en una línea a un intervalo fijo, pero que garantice que en cada punto se midan árboles diferentes. El área alrededor de cada punto se divide en cuatro cuadrantes orientados siguiendo los puntos cardinales. Dentro de cada cuadrante, el árbol más cerca del punto de muestreo se identifica botánicamente, se determina su área basal y se registra la distancia hasta el punto central de muestreo (Fig. 7). Los datos de los cuatro árboles de cada punto de muestreo se registran en formularios preparados al efecto. El mismo procedimiento se repite en los demás puntos, hasta completar por lo menos 40.

Método de la intercepción lineal

Una variante al transecto es el método del transecto lineal o de la intercepción lineal; algunos autores la refieren como Línea de Canfield. Este se emplea frecuentemente para determinar la cobertura y otras características cuantitativas en vegetación baja y compacta, como en pastizales y chaparrales. Este método consiste en trazar en el área de estudio una serie de líneas paralelas rectas a intervalos constantes. Luego con una cinta métrica colocada sobre cada línea se determina la longitud que cubre cada una de las especies que se encuentran directamente debajo de la cinta. La longitud total de todas las líneas se toma como 100 por ciento para calcular la cobertura de cada especie. Además de la cobertura se puede calcular la abundancia numérica y la frecuencia de las especies en el área de estudio, así como el área despoblada.

Para calcular la Cobertura y la Frecuencia se aplican las siguientes fórmulas:

Cobertura (C):

$$C = \frac{L}{L_t} \times 100$$

Donde:

L = Longitud interceptada por especie.

L_t = Longitud total de las líneas.

Frecuencia (F):

$$F = \frac{N_i}{N_t} \times 100$$

Donde:

N_i = Número de veces que la especie es interceptada.

N_t = Total de especies interceptadas.

Con los datos de este método se pueden preparar vistas laterales mostrando la vegetación en o a los lados de la línea, señalando su posición, cobertura, área basal y área despoblada, según se muestra en la figura 8.

El coeficiente de comunidad

En muchas ocasiones es necesario establecer comparaciones entre varios rodales o comunidades. Con este fin se han utilizado índices o coeficientes de vegetación, los cuales expresan matemáticamente las similitudes entre comunidades o rodales y las especies que las componen. Entre esas expresiones matemáticas la más conocida es el coeficiente de comunidad.

Para calcular dicho coeficiente se acostumbra preparar un listado de las especies presentes en los rodales o comunidades que se desean comparar y se distribuyen en una tabla de tres columnas. En la primera columna se señalan las especies del rodal o comunidad A, en la segunda las especies comunes a ambos rodales o comunidades (A y B) y en la tercera del rodal o comunidad B. Una forma sencilla de calcular el coeficiente de comunidad, es expresando en porcentaje el número de especies comunes a ambos rodales o comunidades con respecto al número total de especies. Sin embargo, desde el punto de vista analítico-comparativo, resulta más conveniente comparar las comunidades con base a sus características cuantitativas como frecuencia absoluta, frecuencia relativa, dominancia, etc. En este caso la similitud entre dos rodales o comunidades se establece no considerando su composición florística, sino mas bien por la relación de porcentajes comunes con los porcentajes totales de las características cuantitativas de la vegetación. Conforme al arreglo antes mencionado e incorporando la comparación que considera los parámetros de vegetación, Gleason y Cook (1927) sugiere la siguiente fórmula para calcular el coeficiente de comunidad:

$$CC = \frac{c}{a+b+c} \times 100$$

Figura 6

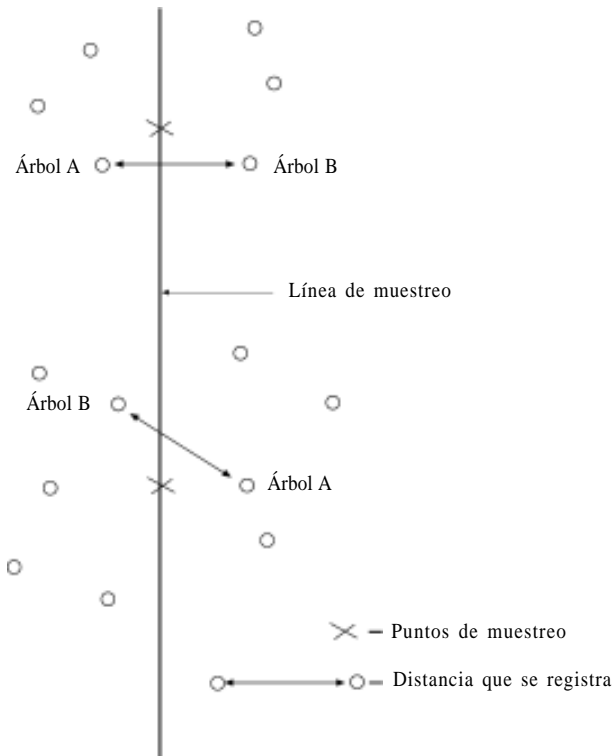


Diagrama mostrando la forma de muestreo con el método de pares al azar

Donde c , es la mitad del total de los valores en la segunda columna, y a y b son las sumas respectivas de los valores en la primera y tercera columna.

Oosting (1951) propuso otra manera de calcular el coeficiente de comunidad, mediante la siguiente fórmula:

$$CC = \frac{2w}{A+B} \times 100$$

En esta fórmula, w es la suma del par de valores porcentuales más bajos de las características cuantitativas bajo consideración de las especies comunes a ambas comunidades. Este valor se multiplica por dos para representar la medida en que las dos comunidades participan o contribuyen a la característica;

Figura 7

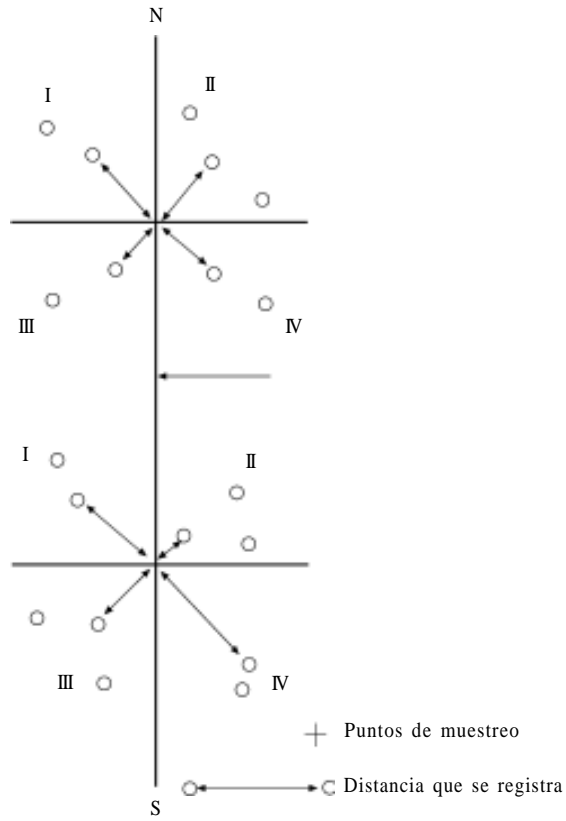


Diagrama mostrando la forma de muestreo con el Método de los Cuadrantes

A y B representan la suma de todos los valores porcentuales de las especies presentes en las dos comunidades.

Al aplicar estas fórmulas mientras más alto es el valor obtenido, mayor es el grado de similitud entre los rodales o comunidades. Por lo tanto, el coeficiente de comunidad provee una base para establecer diferencias o similitudes entre dos o más comunidades.

Referencias

- Braun-Blanquet J. 1950. Sociología vegetal. ACME AGENCY. Buenos Aires, Argentina.
- Begon M., Harper J. L. y Townsend C. R. 1996. Ecology: Individuals, Populations, Communities. Blackwell Science, EUA.
- Cain A. S. 1951. Fundamentos de fitogeografía. ACME AGENS. Buenos Aires, Argentina.
- Cain S. A. y de Oliveira-Castro G. M. 1959. Manual of vegetation analysis. Harper and Brothers Pub., New York, EUA.
- Crawley M. 1986. Plant Ecology. Blackwell Scientific Pub., EUA.
- Cruz-Peréz L. M. 1964. Manual de Laboratorio de Ecología Vegetal. Universidad de El Salvador. El Salvador, San Salvador. S.S. El Saly., C.A.
- Daubenmire R. F. 1979. Ecología Vegetal. Tratado de autoecología de plantas. Limusa. México, D.F. México.
- Emmel T. C. 1975. Ecología y biología de las poblaciones. Interciencia Mc. Graw-Hill, México.
- Flores J. S. 1993. La Vegetación Insular de la Península de Yucatán. Fasc. No. 2. Etnoflora Yucatanense. FMVZ-UADY. Yucatán, México.
- Flores J. S. y Rosales V. M. 1978. Curso fundamental de ecología. Proyectos OMEGA, S. S. El Salvador, C.A.
- Flores J. S. y Espejel I. 1994. La Vegetación de la Península de Yucatán. Fasc. No. 4. Etnoflora Yucatanense. FMVZ-UADY. Yucatán, México.
- Flores J. S. y Tun Garrido J. 1997. Manual para Herbario. Etnoflora Yucatanense. FMVZ-UADY. Yucatán, México.
- Font Quer P. 1965. Diccionario de Botánica. LIMUSA, México.
- García E. 1973. Modificación al sistema de clasificación climática de Kooppen (para adaptarlo a la República Mexicana). México, Instituto de Geografía, UNAM.
- Gleason H. A. y Cook M. L. 1927. Plan ecology of Puerto Rico. Scientific surv. Of Puerto Rico and the Virgin Islands. Vol. 7, New York Acad. Sci., 96 pp.
- Krebs Ch. J. 1989. Ecological Methodology. Harper & Row Publishers, Inc. EUA.
- Krebs Ch. J. 1993. Ecología estudios de la distribución y la abundancia. Harla, México.
- López J. F., Cruz A. G., Rocha R. A., Navarrete S. A., Flores M. G., Kato E., Sánchez C. S., Abarca A. L. G., Bedía S. C. M. y Winfield A. I. 1985. Manual de ecología. Trillas, México.
- Matteucci S. y Colma A. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. OEA. Washington, DC. EUA.
- MacNaughton S. J. y Wolf L. L. 1984. Ecología general. Omega, España.
- Miranda M. y Hernández Xolocotzy E. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. Bol. Soc. Bot. México, 28:29-179.
- Miranda F. 1978. Vegetación de la Península de Yucatán. Rasgos fisiográficos. Colegio de posgraduados, Chapingo, México.
- Montoya-Maquín J. M., García J. B. e Icaza J. G. 1971. Método para la zonificación ecológica del frijol en Centro América. XVII Reunión Anual, PCCMCA, ROCAP.

- Moreno N. P. 1984. Glosario botánico ilustrado. CECSA, México.
- Oosting H. J. 1951. Ecología vegetal. Aguilar, Madrid.
- Richards P.W., Tansley A.G. y Walt A.S. 1940. The recording of structure, life form and flora of tropical forest communities as a basis for their classification. *J. Ecol.*, 28:224-239.
- Richards P. W. 1957. *The Tropical Rain Forest*. University Press, Cambridge, Gran Bretaña.
- Rosales V., Flores J. S. y Vilanova R. 1973. Guía para estudios de vegetación y suelos. Edit. Universitaria, Universidad de El Salvador, C.A.

IV. LOS AGROECOSISTEMAS

El estudio de los agroecosistemas requiere de técnicas de muestreo diferentes a las de los cultivos extensivos que ocupan grandes extensiones de terreno debido a que se caracterizan por su diversidad biológica y por la importancia de las interacciones ecológicas de los organismos involucrados, de manera que dichas características deberán de ser tomadas en cuenta a la hora de la toma de muestra.

Los microorganismos del suelo (microflora y microfauna) cumplen diversas funciones dentro de los agroecosistemas, entre las que se tienen: descomposición (mineralización y humificación), fijación de nitrógeno, biodisponibilidad de nutrientes (principalmente fósforo), formación de agregados, producción de sustancias promotoras del crecimiento vegetal, etc. La actividad de las bacterias fijadoras de nitrógeno molecular y la formación de micorrizas que favorece la absorción de agua y nutrientes para las plantas, son dos de las actividades de las bacterias y hongos, que hacen que los agrónomos y biólogos les presten atención.

Uno de los sistemas agroforestales-pecuarios que permanecen en las zonas rurales del país y aún en algunas zonas urbanas es el solar. En ellos se produce una gran diversidad de plantas de muy diverso uso, tales como medicinal, alimenticio, forrajero, ornamental, maderable y religioso. Además de la cría de animales de traspatio. Una de las características de este sistema de producción es que los animales funcionan como transformadores de productos de desechos agrícolas o caseros, además de productos no comerciales (hierbas, semillas, cáscaras, insectos, etc.) estos últimos cosechados por los propios animales en sus recorridos cotidianos. A últimas fechas, se le ha reconocido al solar y a la producción de traspatio, importancia en la alimentación familiar, así como su función de amortiguamiento con respecto a los demás sistemas de producción de las familias rurales, como son la milpa y el uso de la vegetación. En los solares, sin duda, los

animales juegan un importante papel en el reciclaje de nutrientes y en el almacenamiento y conversión de materia y energía, como también por su papel como ahorro y fuente de dinero en casos urgentes.

La milpa es el agroecosistema de mayor importancia en el mundo debido a su extensión ya que se calcula que alrededor de 300 millones de campesinos utilizan este sistema productivo para la obtención de su alimento. Esta forma de producción presenta diferentes formas geométricas, una peculiar dinámica temporal y diferencias en los cultivos acompañantes del maíz, lo cual lo hace un agroecosistema complejo, difícil de caracterizar. En este apartado se presenta un capítulo en el que se describe una técnica de muestreo de maíz en parcelas de campesinos.

Los planes de manejo de los recursos naturales requieren la participación de profesionistas con perfiles diversos, tanto de los técnicos especializados en el conocimiento biológico de los sistemas productivos en el caso de las actividades agropecuarias, forestales y de manejo de la vida silvestre, como de los técnicos en cuestiones económicas y sociales, ya que, en la toma de decisiones, la cultura y los aspectos económicos determinan en gran medida la adaptación y adopción de las nuevas opciones productivas.

Por esto en este apartado se presentan capítulos incluyendo estos temas.

11

RENDIMIENTO DE MAÍZ EN MILPAS DE CAMPESINOS

Bernard Triomphe

Introducción

La agricultura campesina de subsistencia está constituida por un gran número de productores que trabajan con un nivel diverso de tecnología y ocupan grandes superficies de terreno. Además existe una gran heterogeneidad entre los productores en aspectos ecológicos (generalmente basada en la diversidad biológica), sociales (de organización de productores, tradiciones, etc.), y económicos (insumos agrícolas externos). Este tipo de agricultura tan diversificada requiere el entendimiento y propagación de técnicas de medición del rendimiento de maíz y de otros cultivos en parcelas de campesinos.

Adicionalmente, las parcelas de productores de subsistencia se encuentran en suelos de alta heterogeneidad espacial, como los suelos someros (Leptosol), suelos con escaso desarrollo pedogénico (Cambisol) y en suelos con algún nivel de inclinación del terreno.

El rendimiento de un cultivo es fundamental en la investigación agrícola, ya que sin esto las interpretaciones agronómicas son incompletas. En el mismo sentido, a nivel práctico, en la administración tanto a nivel de familia como de rancho, el conocimiento sobre el rendimiento agronómico es fundamental en la toma de decisiones.

El rendimiento de maíz se expresa en unidad de masa por unidad de superficie, comúnmente como kg ha^{-1} . Es sencillamente, una cantidad física de producto (en kg) obtenida en una determinada área (ha). En teoría bastaría pesar o conocer la cantidad total del cultivo producido (maíz por ejemplo) en una parcela y medir o conocer el área para tener el dato exacto; sin embargo, con un poco más de detalle en la medición, se puede generar información agronómica de gran utilidad

en la comparación de rendimientos de los cultivos por varios campesinos, el daño por enfermedades y plagas e información sobre las actividades agrícolas (como la densidad de siembra, tiempo y tamaño de surcos, tipo y forma de las hileras, etc.). Además, para hacerse una adecuada toma de muestra se requiere el conocimiento de la heterogeneidad ambiental (principalmente suelo y cultivos).

Por otro lado, la estimación del rendimiento agronómico –área y producción– basadas en la declaración del productor no es recomendable, ya que la experiencia indica que es una técnica no confiable (Poate, 1988). Una estimación errónea del rendimiento ocasionaría una evaluación subjetiva. Es por esto que se requiere encontrar una forma precisa, rápida y barata para estimar el rendimiento en forma cuantitativa y precisa.

La técnica propuesta en este capítulo esta basada en la medición de rendimientos en una serie de sitios pequeños de muestreo que conjuntamente proporcionan una estimación razonable del rendimiento a nivel de toda la parcela, así como de su variabilidad interna.

En este capítulo se describen los principios y los pasos a seguir para poder realizar estimaciones cuantitativas de rendimiento de maíz en parcelas de campesinos. La técnica está enfocada al maíz, aunque los mismos principios podrían adaptarse a la cosecha de otros cultivos.

Es importante destacar que bajo condiciones particulares de suelos y cultivos se requerirá la modificación de esta técnica. La base para decidir cualquier modificación requiere una justificación agronómica.

Datos de la parcela

En primer lugar, se recomienda la inclusión de una descripción de los problemas que pudieron haber afectado la producción durante el ciclo agrícola, tales como vientos, invasión de ganado, plagas, etc. Asimismo, se recomienda registrar las prácticas realizadas en la parcela durante este mismo ciclo (tipo de práctica, fechas en que se hizo, insumos usados, problemas encontrados al realizarla, empezando desde la preparación del terreno hasta la fecha del muestreo).

Es aconsejable, conocer: a) La historia de la parcela sobre los últimos 10 años cuando menos; b) El año en el que se cortaron los árboles (tumba); c) El último periodo de descanso y su tiempo de duración; y d) Información sobre los niveles de rendimiento obtenidos en la parcela en años anteriores. Para adquirir esta información, es necesario entrevistarse con el dueño de la parcela en algún momento, durante o después de la cosecha (Cuadro 1).

Tipo de muestreo

El muestreo sistemático es el más recomendable, tomando las muestras un intervalo de distancia a lo largo de una o varias diagonales dentro de la parcela (Figura 1). La decisión en cuanto al número de sitios y diagonales depende del tamaño y forma de la parcela. Basta una sola diagonal para tomar las muestras de una parcela de forma cuadrada o rectangular de menos de 0.5 ha. Para parcelas de formas irregulares, o de gran tamaño (mayores a 0.5 ha), puede ser necesario seguir cuando menos dos diagonales.

Cuadro 1

Agricultor_____	Comunidad_____	Fecha_____
Muestreo_____		
Área sembrada de maíz:_____ Área cosechable_____ Variedad:_____		
¿Existen áreas sin producción alguna dentro de la parcela? Sí_____ No_____		
En caso afirmativo, ¿Que área representa?_____		
Razón por no haber producido:_____		
Opinión del campesino sobre esta cosecha (en comparación con lo que según él, tendría que darse en esta parcela normalmente): muy por debajo_____ algo por debajo_____ normal_____ algo mejor_____ mucho mejor_____		
Si la producción no fue normal, eventos y /o razones que influenciaron en la producción (lluvias, vientos, plagas, retrasos en las prácticas, daño por ganado, etc.)_____		

Importancia del “acame” a nivel de la parcela:		
Nada o muy poco_____ por partes solamente_____ común_____ fuerte_____		
¿Que tan representativos de la parcela fueron los sitios de muestreo al parecer en términos de la producción? peor_____ mas o menos_____ igual_____ mejor_____		
¿Qué tanto maíz se sacó en elote antes de la cosecha en esta parcela? (registrar el número aproximado de elotes)_____		
¿Se cosecharon otros cultivos en la parcela? Sí_____ No_____		
En caso afirmativo completar el cuadro siguiente		
Cultivo_____ calabaza_____ frijol común_____ otros frijoles (¿cuál)_____		
otros 1_____ otros 2_____		
Presente_____		
Asociado_____		
Época cosecha_____		
Cantidades cosechadas_____		

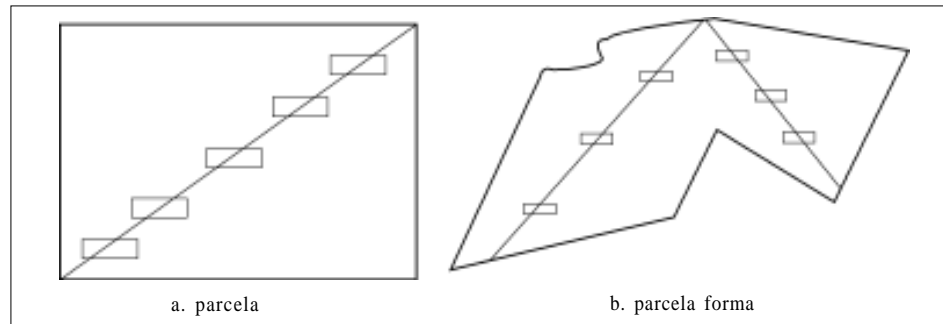
Información general de toda la parcela

En total, es recomendable tomar muestras en cinco sitios por parcela; sin embargo, debe tenerse en cuenta el tamaño de la parcela. Por ejemplo, tres o cuatro sitios en parcelas de menos de 0.5 ha y de seis a siete en parcelas de más de 1.5 ha, donde también habría la necesidad de definir, cuando menos, dos diagonales de muestreo (Figura 1).

Momento de la toma de muestra

La madurez fisiológica de la planta es el momento adecuado para la medición del rendimiento (cuando el llenado de grano ha terminado y que puede observarse el “punto oscuro” en su base); sin embargo, es igualmente válido realizar esta medición antes de que el productor comience a levantar la cosecha, solo que se corre el riesgo de perder información debido a la pérdida del producto por múltiples factores como por ejemplo, enfermedades y plagas.

Figura 1



Ubicación de los sitios de muestreo dentro de una parcela

Es deseable que se reúnan las siguientes condiciones: 1) Que el equipo técnico este listo (material, formatos, y que ya haya hecho una prueba inicial para familiarizarse con el método de muestreo); 2) Acuerdo previo con los agricultores de la comunidad para elaborar un calendario de cosecha.

Determinación del área de muestreo

En el caso de siembras en hileras o surcos, el área de muestreo de uno de los sitios puede ser de tres surcos de ancho por 10 m de largo, tomado en cuenta la distancia entre surcos (DS) de ahí que el área de muestreo (AM) es:

$$AM = (3) (10) (DS)$$

Para determinar la DS de forma precisa, se mide la distancia entre seis surcos, incluyendo obviamente los tres que vamos a cosechar. Al considerar seis surcos, se promedia cinco veces la distancia entre surcos, lo cual le confiere mayor representatividad a la medición. La cinta métrica debe quedar perpendicular a los surcos, para no sobrestimar la medida.

Por ejemplo, si se determina que la distancia entre seis surcos es de 4.5 m, la distancia promedio entre surcos es $4.5/5$ o sea 0.9 m, el área de toma de muestra será de:

$$(3) (10 \text{ m}) (0.9 \text{ m}) = 27 \text{ m}^2$$

En cuanto a los 10 m de longitud sobre el surco, es necesario separar claramente las plantas que quedan incluidas al inicio y al final de los 10 m. Esto puede lograrse doblando dos o tres plantas de cada lado. Se recomienda usar un mecate de 10 m equipado con un gancho de metal para marcar los 10 m. El gancho se coloca sobre la primera planta del surco. Otra opción es la utilización de un palo, pintado en un color brillante, que se coloca al inicio de los 10 m.

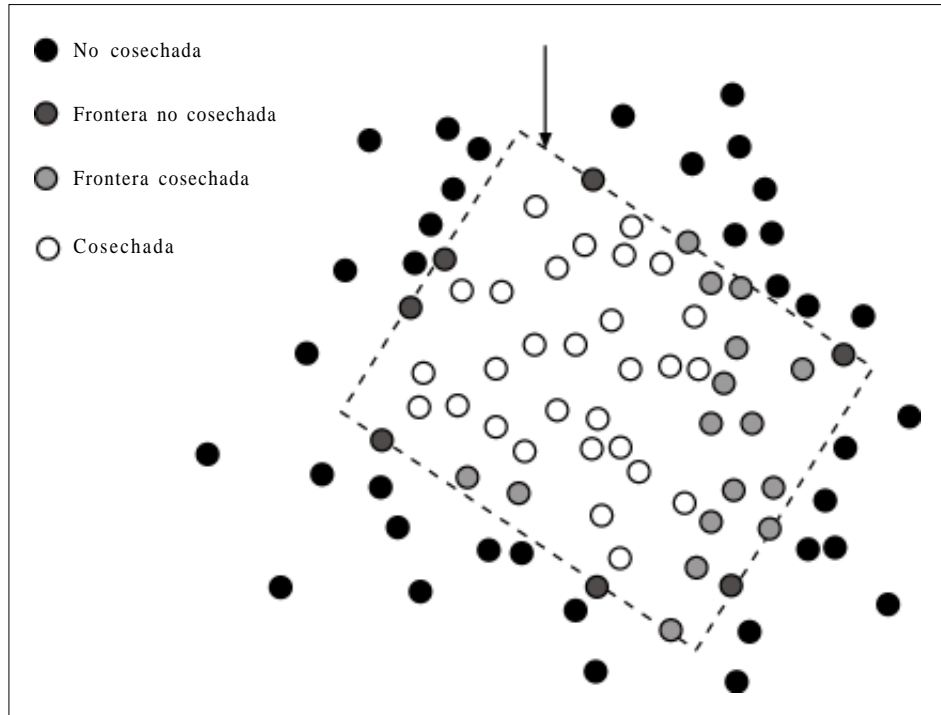
Si el agricultor no sembró en hileras, o si no hay forma de identificarlas, se debe delimitar un área rectangular con una cinta métrica de aproximadamente de 24 m^2 (4 m x 6 m) ó 28 m^2 (4 m x 7 m), según convenga (Figura 2).

En la medida de lo posible, la cinta debe pasar en medio de las plantas que vienen cayendo en la frontera entre el área de muestreo y a la vez, quedar lo mas recta posible, con el objetivo de minimizar el número de plantas cuya pertenencia al área es ambigua, ya que están justo en la cinta. Sólo la mitad de estas plantas deben incluirse en la estimación de rendimiento.

Medición de la producción de maíz

Para agilizar el trabajo de muestreo, se recomienda conformar un equipo de tres personas como mínimo. Si se cuenta con material y hay la posibilidad con más técnicos, es recomendable formar más grupos de tres personas, cada uno encargado de parcelas o puntos de muestreo específicos. Los participantes deben conocer la técnica y su papel en el equipo. La participación de los mismos dueños de las parcelas en la cosecha es muy recomendable.

Figura 2



Muestreo de maíz en una parcela de siembra irregular o no geométrica

El material necesario para el muestreo es: a) Formatos de toma de datos Cuadro 2; b); Lápiz; c) Tres mecate de 10 m con gancho o estaca (para amarrarlos); d) Balanza de reloj con soporte, con capacidad de 20 kg y precisión de ± 50 g; e) Sacos para pesar las mazorcas y mecate para amarrarlos; y f) Bolsas grandes de *nylon* y marcador permanente. Al llegar al punto de muestreo, dos personas se encargan de definir el área (marcando los límites, midiendo las distancias), mientras la tercera puede empezar a contar la densidad. Posteriormente, las tres personas cosechan y juntan las mazorcas en un lugar adecuado para el pesaje. En este momento, una persona se encargará de apuntar los datos requeridos en el Cuadro 2, mientras que las otras dos van preparando el pesaje, alineando las mazorcas y contándolas, de allí se saca la submuestra de 10 mazorcas (Figura 3).

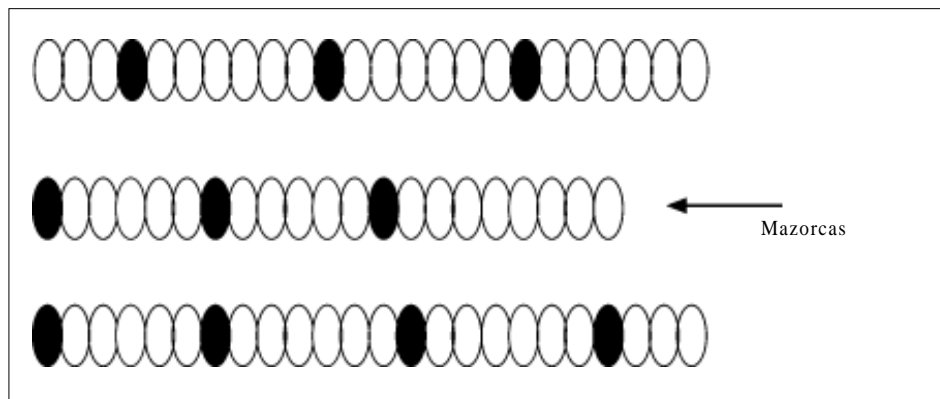
Una vez definida y medida el área de muestreo, se cosechan las mazorcas y se realizan las mediciones siguientes:

1. Contar el número total de plantas en los tres surcos de 10 m de longitud o al interior del área seleccionada según el caso, considerando las plantas

“acamadas” o dañadas. Las plantas dobladas que pertenecen a surcos fuera del área de interés no deben ser considerados.

2. Cosechar las mazorcas y amontonárlas en un mismo lugar. no olvidar apuntar el numero de mazorcas perdidas o ausentes. Por ejemplo, se encuentran elotes sin ningún grano, lo que es común en parcelas donde hubo mucho “acame” y consecuentemente daño por ratones. Otro caso es cuando se distingue claramente que el agricultor cosechó unas cuantas mazorcas.

Figura 3

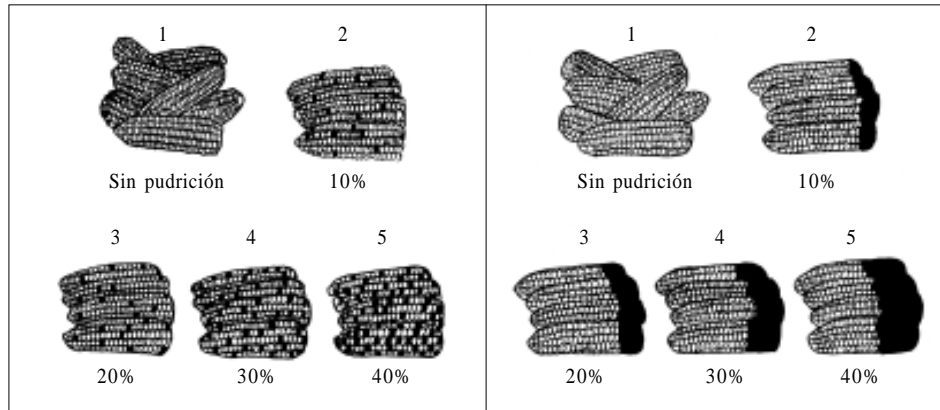


Selección de mazorcas al azar

3. Separar las mazorcas sanas (o con daño menor al 10%) y las mazorcas dañadas.
4. Pesar los dos grupos de mazorcas por separado.
5. Alinear y contar el numero de mazorcas sanas. Seleccionar una muestra de 10% de mazorcas.
 Por ejemplo, si había 70 mazorcas sanas, siete de ellas se colocan en una bolsa de plástico sellada e identificada con el nombre del agricultor, comunidad y fecha, hasta completar el muestreo en toda la parcela.
6. Alinear y contar las mazorcas dañadas o perdidas y estimar el porcentaje promedio de daño.

Se atribuye visualmente un porcentaje de daño a cada mazorca, se suman los porcentajes y se divide esta suma por el numero de mazorcas dañadas. Para calibrar con respeto a la estimación visual de daños, la Figura 3 puede ser de utilidad. Además, del porcentaje de daño, es importante identificar el tipo de daño (pájaros, mapache, hongos, etc.).

Figura 4



Mazorcas con daño en la base (A) y con daño irregular (B)

En algunos casos, hay una proporción alta de mazorcas dañadas, lo que justifica utilizar una muestra compuesta de mazorcas, para representar tanto a las mazorcas sanas como a las mazorcas dañadas al momento del desgrane y de los demás cálculos sobre la muestra.

Al finalizar el muestreo de una parcela, se sella la bolsa con la muestra compuesta de 50 mazorcas.

Todas las determinaciones que se hacen sobre las muestras compuestas pueden hacerse en la comunidad o en el laboratorio. Se requiere un lugar con mesa, sillas y espacio suficiente para guardar y trabajar con las muestras.

Datos sobre las mazorcas

Es aconsejable no dejar pasar mucho tiempo para hacer estas mediciones, para evitar problemas de almacenamiento tales como pudrición de la muestra, daños de gorgojo y ratones, etc.

Una vez reunidas las 50 mazorcas (el número exacto depende de cuanto sitios se muestrearon) de los sitios de muestreo en una parcela, se pesa la muestra on una insertidumbre de 50 g o menor.

Las mazorcas se desgranar evitando no esparcir mazorcas o grano u olote. Cuando hay mazorcas y granos dañados mayor al 20%, es recomendable separar los granos dañados de los granos sanos. Al finalizar el desgrane, se pesan los olotes y el grano. Con base en el peso total y el peso de grano u olote, es fácil calcular la proporción de desgrane (*i.e.* peso de granos / peso total 50 mazorcas enteras con sus olotes).

El paso siguiente es determinar el peso específico de grano y el porcentaje de humedad. Hay dos casos posibles según la disponibilidad de material:

Si cuenta con equipo portátil para la determinación de humedad y de una balanza de precisión (1 g o 0.1 g), balanza de triple brazo o balanza electrónica portátil. En este caso, se determina la humedad inmediatamente después de desgranar (sobre 2 submuestras), y se cuentan y pesan dos veces 100 granos. Esos 100 granos se escogen de un puñado de granos sanos sacados al azar en la muestra desgranada (o sea, hay que descartar los granos podridos al momento de contarlos). Es relativamente fácil y rápido hacer el conteo juntando los granos en diez conjuntos de diez. No vale la pena determinar el peso específico y la humedad del grano dañado, al menos de que estos últimos representan más del 20% de la muestra.

En el caso de no contar con el material de campo para la determinación de la humedad, se colocan alrededor de 200 gramos de maíz en una bola de nylon sellada e identificada para transportarse al laboratorio para la realización de las determinaciones arriba mencionadas.

En el caso de no contar con un equipo para la determinación de la humedad, se estima el grado de humedad del grano utilizando un horno, colocando la muestra a 60° C durante dos días, teniendo el cuidado de registrar el peso antes y después de secar la muestra.

Cálculo de los rendimientos

El rendimiento de maíz puede calcularse con base en el producto de los componentes individuales, como son mazorcas y granos, por lo cual el rendimiento puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$R = (NP \text{ ha}^{-1}) (NM \text{ P}^{-1}) (NG \text{ M}^{-1}) (P1g)$$

Donde:

R= rendimiento en kg ha-1

NP ha⁻¹= número de plantas ha-1

NM P⁻¹ = número de mazorcas por planta

NG M⁻¹= número de granos por mazorca

P1g= peso específico de un grano.

Cuadro 2

Fecha de muestreo _____	Agricultor _____			Comunidad _____		
Sitio de muestreo	# 1	# 2	#3	# 4	#5	# 6
Datos de campo						
1. Determinación del área						
distancia entre seis surcos _____						
Área de muestreo (m2)	m2	m2	m2	m2	m2	m2
2. Conteo de plantas y mazorcas						
Núm total de plantas	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Acame (%)	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Núm mazorcas perdidas	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Num mazorcas dañadas	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Daño (%)	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Tipo de daño	_____	_____	_____	_____	_____	_____
3. Peso en campo						
Mazorcas sanas	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Mazorcas dañadas	_____	_____	_____	_____	_____	_____
4. Observaciones						
	_____	_____	_____	_____	_____	_____
	_____	_____	_____	_____	_____	_____

Muestra de 50 mazorcas

Peso total (a) _____
 Peso de grano Total (b): _____ Sano _____ Dañado _____

Peso de olote _____
 Desgrane (b/a) _____
 Peso de 100 g 1) _____ 2) _____ 3) _____ Promedio _____
 Humedad (%) 1) _____ 2) _____ 3) _____ Promedio _____

Formato para datos de rendimiento de cultivos

Sin entrar en detalle, el conocimiento de los componentes permite tener una idea de las causas biológicas de las diferencias de rendimiento de una parcela a otra, o dentro de una misma parcela: a) Problemas de densidad; b) Presencia de suelos diferentes; c) Problemas de fertilidad; c) Problemas de llenado de granos; etcétera.

Es recomendable realizar un muestreo preliminar con el fin de conocer las particularidades del terreno y del o los cultivos.

Para pasar de las mediciones de campo en cada sitio de muestreo a un dato de rendimiento a nivel de una hectárea, hay tres etapas principales: estimar el peso de grano “útil” en cada sitio, sumar estos pesos de los sitios y multiplicar por un factor de corrección de área.

La fórmula general es la siguiente (tanto a nivel de un solo sitio como a nivel de toda una parcela):

$$\text{Rendimiento} = \text{Peso útil de grano} \times \text{factor de corrección por área}$$

Un ejemplo, primero a nivel de un sitio de muestreo y después calculando el rendimiento en kg ha⁻¹ a nivel de la parcela.

El peso útil del grano se refiere a la cantidad de maíz que podría aprovecharse realmente con base en la cosecha. Para pasar del peso de campo al peso útil, hay que ajustar por tres factores, como son: 1) El desgrane; 2) El daño en las mazorcas; y 3) La humedad del grano.

Peso útil = Peso del grano sano + peso del grano dañado pero recuperable”, o sea

$$\text{Peso Útil} = (\text{Peso campo de las mazorcas sanas} \times \text{Desgrane} \times \text{FCH}) + (\text{Peso de campo de las mazorcas dañadas} \times (1 - \text{daño}) \times \text{desgrane} \times \text{FCH})$$

Donde FCH= Es el factor de corrección por humedad.

Este último se determina así: $(110 - H \%) / 88$, en donde H % es la humedad medida o estimada del grano, y 88 viene de la humedad de referencia usual para expresar rendimiento (12%).

Por ejemplo, si se tienen los siguientes datos:

Peso de las mazorcas sanas = 15.3 kg

Peso de las mazorcas dañadas = .08 kg

Daño = 0.40 (40%)

Desgrane = 0.75 (75%)

Humedad del grano = 22%

Tara = 0.150 kg

El peso útil sería:

$$PU = (15.3 - 0.15) \times 0.75 \times [(100 - 22) / 88] + \{(0.8 - 0.15) \times (1 - 0.40) \times 0.75 \times [(100 - 22) / 88]\} = 10.3 \text{ kg}$$

El factor de corrección (FC) para transformar los datos del sitio de muestreo a hectárea, es de (10000/área de muestreo total), donde el denominador es la sumatoria de las áreas de los sitios de muestreo individuales.

Por ejemplo, si los sitios de muestreo tenían áreas de 25, 27, 28, 26.5 y 29 m², el área total muestreo fue de 135.5 m², y el factor de corrección es 10000/135.5 m², es decir, es:

$$FC = 10000 / 135.5 = 73.8007$$

Ahora es posible calcular el rendimiento en kg ha⁻¹, asumiendo que los pesos útiles fueran 10.3, 6.4, 8.4, 5.1 y 7.3 kg, respectivamente en los 5 sitios de muestreos, entonces el rendimiento promedio fue:

$$37.5 \text{ kg} \times 73.8007 = 2767 \text{ kg ha}^{-1}.$$

Los cálculos necesarios para calcular los demás componentes del rendimiento a nivel de la parcela son los siguientes (asumiendo que todos los datos son promedios a través de sitios de muestreo):

- Número de plantas ha⁻¹ = Número total de plantas / Área de muestreo
- Número de mazorcas planta⁻¹ = Número total de mazorcas / número total de plantas
- Número de granos mazorca⁻¹ = Peso de grano de una muestra de 50 mazorcas / 50 Peso específico de grano (este cálculo puede hacerse tanto con base en datos corregidos por humedad seco, como en base a datos de campo).
Peso específico de grano = (Peso de 100 granos) / (100 x FCH)

Referencias

- Bolaños J. s/f. Fisiología del maíz. Documento borrador, PRM, Guatemala CIMMYT, 1985. Manejo de los ensayos e informe de los datos para el programa de ensayos internacionales de maíz del CIMMYT. México D.F.
- Navarro H. 1984. L'analyse des composantes du rendement du maïs. Tesis doctoral, INAPG, Paris, Francia.
- Poate D. 1988. A review of methods for measuring crop production for smallholder producers. *Experimental Agriculture*, 24:1-14.

12

ARVENSES

Jesús Arturo Caamal Maldonado

Introducción

El término arvense¹ posiblemente no sea reconocido por aquellos profesionales o investigadores que no estén directamente involucrados con los sistemas de producción agrícola; sin embargo, si se menciona el nombre de malezas inmediatamente viene a la mente la imagen de tales especies vegetales que se encuentran siempre presentes en las parcelas agrícolas.

Las malezas o malas hierbas, como son ampliamente conocidas las arvenses, son consideradas casi siempre como elementos indeseables en los sistemas de producción convencionales², por lo que en primera instancia es común pensar que deberían ser eliminadas por completo de los campos de cultivo.

A pesar de su mala fama las malezas forman un subsistema que interactúa con los demás elementos del mismo agroecosistema, jugando un papel importante desde el punto de vista ecológico (Hart, 1985). Así, las arvenses forman parte de las cadenas alimenticias como productores primarios, lo que las diferencia de otras “plagas”; asimismo, pueden ser protectoras del suelo contra la erosión, aportando además materia orgánica al mismo; pueden también favorecer la presencia de insectos benéficos, como los enemigos naturales de plagas, etc. De tal suerte, a las malezas se les ha denominado arvenses o especies adventicias, términos que no tienen una connotación negativa, sino que hacen referencia a su presencia natural y constante en los sitios perturbados por las actividades agrícolas.

¹ Arvense: derivado del latín arva: campo cultivado.

² Entiéndase por convencional aquel sistema de producción que emplea básicamente insumos externos al mismo: herbicidas, fertilizantes, etc.

Una vez hecha la necesaria aclaración sobre el papel de las arvenses en los agroecosistemas, debe reconocerse que la mayoría de las veces estas especies compiten con los cultivos, generando una interferencia que afecta el desarrollo de los mismos, disminuyendo en consecuencia su rendimiento (Hart, 1985). La importancia de la competencia con las arvenses depende de cuatro factores: el estadio de desarrollo del cultivo, la cantidad de arvenses presente (básicamente la biomasa acumulada de las mismas), el grado de estrés hídrico o nutrimental y las especies particulares de arvenses.

Algunas arvenses pueden causar más daño que otras, ya sea por la producción de sustancias alelopáticas (metabolitos secundarios que son liberados en la rizósfera) que afecten el desarrollo del cultivo o a otras arvenses, incrementando así su dominancia, o porque son muy eficaces competidoras por agua y nutrientes, lo que en condiciones climáticas limitantes, representa un serio problema.

Debido a la relación de interferencia con el o los cultivos, se han desarrollado diferentes estrategias de control que es preciso tener en consideración por los efectos que tienen sobre la dinámica de las arvenses y sobre los sistemas agrícolas en su conjunto.

La evaluación de los diferentes métodos de control de malezas para evitar su alta proliferación, así como el diagnóstico de la problemática con algunas especies que se han constituido en severos problemas –como *Rottboellia cochinchinensis* y *Cyperus rotundus*, en algunos países centroamericanos y en México (De la Cruz, 1992)– son básicamente los objetivos que se persiguen en la investigación, tanto en campos de productores como en estaciones experimentales. Para el cumplimiento de tales objetivos, la metodología de muestreo de arvenses juega un papel fundamental.

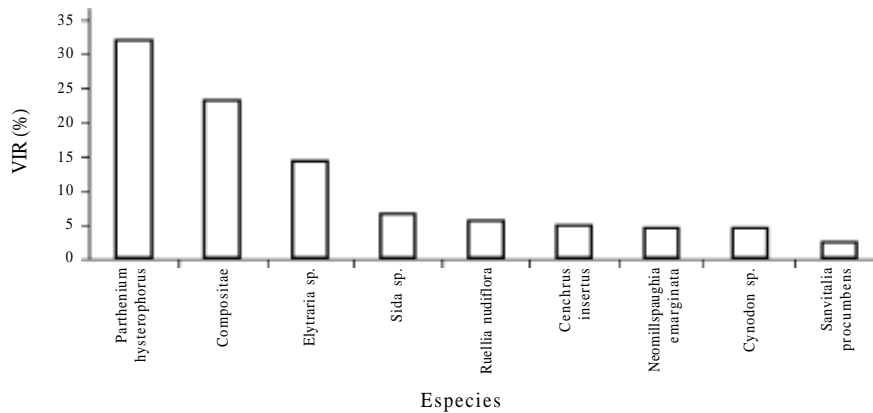
Marco teórico

En nuestro país la situación con el abuso en la utilización de herbicidas puede ejemplificarse con el uso de paraquat en Yucatán. Revisemos rápidamente la situación del sistema de agricultura conocido como roza-tumba-quema (rtq), o milpa, en dicho Estado.

En Yucatán, la reducción del tiempo de descanso del terreno (barbecho), después de dos ciclos consecutivos de cultivo, ha propiciado la disminución de los rendimientos del cultivo principal (maíz), obteniéndose producciones cercanas a los 750 kg/ha de maíz criollo, muy por debajo de la media nacional de 2 t/ha. Relacionado con esta mayor frecuencia de uso de un mismo espacio, hay un incremento de las poblaciones de arvenses, haciendo más difícil su control, lo que ha propiciado el uso recurrente del herbicida paraquat (Arias, 1994).

Además de la reducción drástica de la diversidad de cultivos asociados tradicionalmente al maíz en Yucatán: calabaza (*Cucurbita* sp), ib (*Phaseolus lunatus*), xpelón (*Vigna unguiculata*) por la aplicación del paraquat, hay una disminución igual de grave en la diversidad de arvenses, al hacerse dominantes algunas de ellas por la presión de selección del herbicida, tornándose su control aún más problemático. El caso típico de ello es la especie “altaniza” (*Parthenium hysterophorus*), que alcanza valores de importancia relativa (%) elevados en comparación con otras especies en los terrenos tratados con el mismo producto (Figura. 1).

Figura 1



Dominancia de *Parthenium hysterophorus* en una parcela de maíz después de cinco ciclos de cultivo con la aplicación del herbicida paraquat. Xmatkuil, Yuc. (Caamal y Jiménez_Osornio, 1999).

Las semillas dejadas por altaniza se han hecho cada vez más abundantes en el suelo de las parcelas tratadas paraquat (“banco de semillas”), porque ha sido casi la única especie que ha alcanzado la etapa de floración por haberse hecho dominante sobre las otras especies presentes. (Figura. 2).

A fin de cuentas, el problema con los herbicidas es su uso en muchas ocasiones indiscriminado, que ha generado como se ha visto, la dominancia de ciertas especies. Lo ideal sería incorporar estos productos químicos como elementos complementarios a otras estrategias de control, más adecuadas desde el punto de vista ambiental, de salud pública y de sustentabilidad; es decir, generar un esquema de control integrado.

Muestreo de arvenses

Aspectos que deben considerarse al planear el muestreo

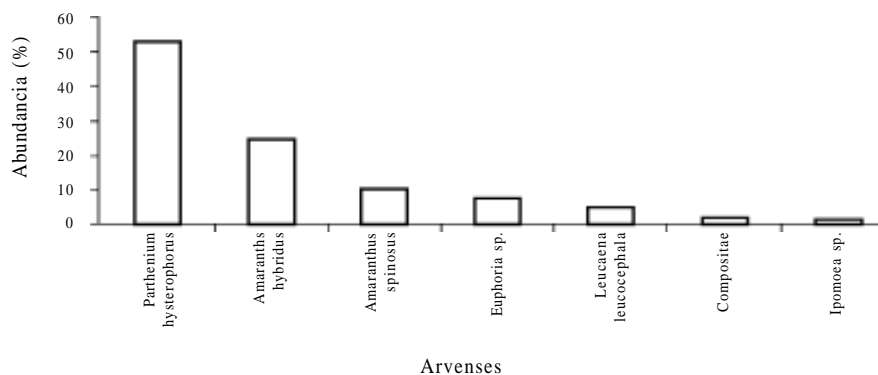
La estructura del subsistema arvenses está determinada tanto por las características fenotípicas de las diferentes especies como por el arreglo espacio-temporal de sus poblaciones.

Con respecto a sus características fenotípicas las arvenses pueden dividirse en dos grupos: de hoja ancha (dicotiledóneas) y de hoja angosta (monocotiledóneas); las estrategias de control, sobre todo aquéllas que implican el uso de productos químicos, tendrán efecto sobre la proporción de cada grupo específico.

En relación con la distribución de las arvenses sobre el terreno es preciso conocer si ésta es aleatoria o agregada, los tiempos en que su abundancia es mayor en el ciclo de cultivo, la producción de semillas, la latencia de las mismas, su viabilidad, etc.

La distribución de las arvenses sobre el terreno: agrupada, aleatoria u homogénea, depende tanto de factores externos o ambientales, como internos (genéticos). Entre los primeros se encuentran: temperatura, humedad, concentración de nutrientes en el suelo, textura del mismo, competencia con otras plantas (cultivo), etc. Los de carácter interno son: forma de la planta, características de reproducción-dispersión de las semillas, latencia de las semillas y viabilidad de las mismas, requerimientos genéticos para la germinación, etc.

Figura 2



Abundancia relativa de arvenses germinadas en el banco de semillas de una parcela de maíz después de cinco ciclos de cultivo con la aplicación del herbicida paraquat. Xmatkuil, Yuc. (Caamal y Jiménez_Osornio, 1999).

El manejo del agricultor (arado, deshierbe, aporque, barbecho, etc.) afecta la distribución y abundancia de las arvenses sobre el terreno. Tómese por ejemplo la labranza, que incide en la dinámica de las semillas en el suelo (semilla activa y en latencia); es una estrategia que implica el manejo del subsistema suelos para el control de las arvenses. En efecto, una de las características más interesantes de las arvenses es su capacidad para producir una gran cantidad de semillas en un periodo corto. Muchas de tales semillas permanecen enterradas en el suelo en estado de latencia, constituyendo así el denominado “banco de semillas.

Si se realiza una labranza profunda, las semillas enterradas emergerán y serán expuestas a las condiciones favorables para su germinación, favoreciendo así su proliferación y competencia con el cultivo. Un diagnóstico certero, a través del muestreo, podría determinar si esta manipulación del suelo es la responsable de los problemas con las arvenses en un terreno en particular, y sugerir un cambio de estrategia, por ejemplo no arar más allá de 10 cm de la capa superficial del suelo (labranza mínima) o bien no arar (labranza cero).

El arreglo espacial de los cultivos también afecta tanto la abundancia como la riqueza específica de las arvenses, así como su propia distribución espacial. En un experimento realizado en Uxpanapa, Ver., se encontró que el arreglo espacial de especies: maíz, ajonjolí y camote (de hábito rastrero), redujo de forma considerable las arvenses; la competencia de los cultivos y la sombra generada por los mismos fueron determinantes en el control. El camote mismo, cubrió como una alfombra las parcelas en que fue intercalado, funcionando como un cultivo de cobertura, con valor comercial por su tubérculo comestible (Caamal, 1985; Caamal y del Amo, 1986, 1987).

Un sistema específico de policultivo se refiere a la intercalación en las parcelas de maíz de leguminosas para el control de arvenses y como aportadoras de nutrimentos, en particular de nitrógeno. De hecho, en algunas comunidades de México y Centroamérica se asocian leguminosas con el maíz (coberturas vivas) como un mecanismo para mantener o mejorar las condiciones del suelo y controlar las arvenses mediante competencia, sombreado o alelopatía.

Mucuna deeringiana es una leguminosa que por su rápido desarrollo alcanza una cobertura total sobre el terreno, produciendo una cantidad considerable de biomasa, ejerciendo un eficiente control sobre las arvenses, aún después de cinco ciclos de cultivo en Xmatkuil, Yuc. (Caamal *et al.*, 2001). La evaluación de especies con tales características, en las condiciones específicas de Yucatán, es prioritaria, tanto en condiciones experimentales como en las propias comunidades campesinas de la región .

En los últimos años se ha enfatizado la necesidad de desarrollar estrategias de control integrado de arvenses que tomen en cuenta tanto su biología como su

ecología; es decir, se pretende evaluar opciones de control ecológicamente deseables. La investigación de tales estrategias permitirá predecir futuras infestaciones, evaluar los efectos de los métodos de control no químicos e integrar modelos operacionales para el manejo de las arvenses.

El control integrado ha tenido gran énfasis en la actualidad, sobre todo por el desarrollo del concepto de umbrales de acción o de tratamiento, que serían aquellos niveles poblacionales de arvenses en los cuales el control se hace necesario, evitando, por ejemplo, aplicar herbicidas cuando no se requiere, haciendo así más racional el uso de agroquímicos. En este sentido el muestreo de arvenses juega un papel fundamental, pues a través de él es como pueden determinarse los umbrales de acción o tratamiento referidos, ya sea para determinar la acumulación de semillas de arvenses en el banco de semillas, o para determinar el grado de infestación y competencia que las arvenses estén ejerciendo directamente sobre el cultivo (Hart, 1985; Reiné, 1999).

Todo lo anterior resalta la importancia del estudio de la dinámica de las arvenses en la evaluación de opciones para lograr una agricultura sustentable; en la evaluación de tal dinámica, juega un papel relevante entender la metodología de muestreo de las arvenses, que dependerá, desde luego, de los objetivos que se busquen en cada investigación particular.

Dinámica de las arvenses en el agroecosistema

Los objetivos en el estudio de la vegetación arvense difieren de acuerdo a las metas que se buscan en los diferentes proyectos. Así, se puede estar interesado en: el mapeo y descripción de la vegetación; establecer un análisis general de las interacciones vegetación-clima-suelo que se presentan en la vegetación arvense de un área particular; determinar los patrones de la sucesión secundaria en campos abandonados, etc.

En esencia, los objetivos que se persiguen en la investigación sobre arvenses son:

Diagnóstico de las condiciones del cultivo en los terrenos de los productores: ¿están causando problemas las arvenses?, ¿hay necesidad de realizar medidas de control? (umbrales de acción), y delimitar las causas del problema con las arvenses (si lo hay): ¿hay sobreuso del terreno?, ¿se aplican malas prácticas de control?, ¿hay arvenses difíciles de controlar?, etc.

Evaluación de métodos de control de las arvenses, en condiciones experimentales y en las propias tierras de cultivo, incluyendo la búsqueda de nuevas estrategias de control ecológicamente apropiadas, basadas en el concepto de manejo integrado (Hart, 1985).

En no pocas ocasiones el diagnóstico revela la dominancia de una especie de arvense que se constituye así en un problema local, que puede alcanzar niveles regionales. Un ejemplo de ello lo constituye la especie caminadora (*Rottboellia cochinchinensis*), que en los países centroamericanos ha generado pérdidas importantes en los sistemas de cultivo (más de 3.5 millones de ha en la región están infestadas por esta especie) (FAO, 1992), por lo que la búsqueda de estrategias de control para resolver esta problemática específica es comunmente el objetivo de la investigación.

El diagnóstico de la problemática generada por las arvenses puede conducir al investigador o promotor a sugerir acciones correctivas o preventivas de las causas que están generando el problema: mal uso de productos químicos, control a destiempo, uso excesivo de un mismo terreno de cultivo, etc. Sin embargo, el diagnóstico es en muchas ocasiones el primer paso que conducirá a una investigación más amplia que implique la búsqueda de alternativas factibles para solucionar el problema concreto.

El problema con las arvenses puede llegar a ser tan importante, que se requiere investigar nuevas formas de control o manejo de las arvenses; para tener éxito en tal búsqueda, el muestreo de las arvenses presentes bajo los esquemas de control evaluados es una herramienta de gran importancia.

Diagnóstico

Para realizar observaciones generales que permitan establecer la interferencia que estén ejerciendo las arvenses sobre el cultivo en los terrenos de los productores, es importante asegurarse que los datos que se colecten sean representativos de cada sitio. Para lograrlo, deben hacerse observaciones o tomarse datos de un número de puntos (cuadrantes) seleccionados de forma aleatoria o sistemática, de acuerdo a las características del terreno. No está de más decir que si se seleccionan puntos que “concientemente” son considerados como representativos, la estimación sobre las variables de interés (frecuencia, biomasa, cobertura de arvenses, etc.), será sesgada.

En el caso de que el objetivo sea determinar la problemática con las arvenses en una comunidad en particular, las muestras colectadas en los campos individuales pertenecientes a cada productor, son promediados y dicho promedio, con su medida de variabilidad (desviación estándar), puede ser confrontado con los obtenidos para los otros campos.

Ahora bien, no todos los espacios agrícolas son entidades homogéneas que puedan ser evaluadas de forma tan aparentemente sencilla como la arriba descri-

ta; más bien, puede decirse que lo contrario es la norma. En efecto, gran parte de los sitios evaluados en una localidad dada (municipio, población, comunidad, etc.) presentan diferentes niveles de heterogeneidad que, por supuesto, debe ser tomada en cuenta a la hora de realizar el diseño de muestreo, para obtener estimaciones insesgadas de la media y la varianza poblacionales.

Es decir, debe ponerse énfasis en el error de muestreo de la metodología empleada (error estándar), cuya magnitud depende de la variabilidad ya citada, del número de observaciones realizadas y del propio método de selección de la muestra.

La variación en las características de la comunidad de arvenses (y en otro tipo de comunidades vegetales) se debe a diversos factores, que afectan la cobertura, densidad y biomasa de las mismas. Entre tales factores están: composición de especies de la comunidad, estacionalidad, historial de uso del terreno, perturbaciones naturales, factores climáticos y edáficos, etc. Tales fuentes de variación podrían usarse para estratificar el espacio para muestrear (muestreo estratificado), de tal suerte que haya una mínima variabilidad dentro de estratos (por ejemplo, similar composición de especies, mismo tipo de suelo, etc.) y una máxima variabilidad entre estratos, en relación con las medidas de interés. Esto es algo similar a lo que se hace cuando se realiza un experimento con un diseño de bloques al azar: se busca homogeneidad dentro de bloques y heterogeneidad entre los mismos.

De tal forma, puede “dividirse” el campo en diferentes secciones, de acuerdo a una medida de variación: En la zona henequenera de Yucatán, por ejemplo, hay una gran heterogeneidad en cuanto a pedregosidad (Bautista, 2001), por lo que deberían efectuarse las mediciones de interés en estratos: pedregosidad baja, media o alta, estimando el porcentaje que cada sección representa del campo entero, para poder realizar un muestreo equitativo.

Finalmente, todas las parcelas evaluadas (de diferentes productores) tendrán una calificación de mayor o menor heterogeneidad, lo que es primordial al momento de realizar la interpretación de los datos obtenidos, y llegar en consecuencia a establecer un diagnóstico certero.

En resumen, debe considerarse que las mediciones realizadas directamente en los terrenos de los productores se ven afectadas por un número de variables correlacionadas que no pueden controlarse (pues no es un experimento el evaluado), por lo que debe cuidarse este aspecto cuando se hagan las interpretaciones y conclusiones de las observaciones realizadas. Esto es de vital importancia sobre todo en el diagnóstico de problemas que afectan al cultivo, pues no tener en cuenta el contexto en que cada campo se desarrolla podría conducir a recomendaciones de manejo erróneas, que en ciertas circunstancias conducirían a pérdidas económicas importantes.

Momento para la toma de muestra

Las arvenses compiten con el cultivo básicamente por luz, agua y nutrimentos; existe un periodo en el estadio de desarrollo del cultivo en el que tal competencia es más deletérea, particularmente en cultivos muy sensibles a ella, como el maíz. Tal etapa se conoce como periodo crítico de cultivo, y para el maíz se sitúa entre los 15 y 45-60 días después de la siembra, aunque, desde luego hay variaciones debidas al tipo de maíz (variedades mejoradas, híbridos), región, etc.

Durante el periodo crítico de cada cultivo la cantidad de arvenses debe ser monitoreada a través del muestreo, para determinar si hay la necesidad de medidas adicionales de control o para evaluar si los métodos mismos son eficientes para lograr poblaciones bajas de estas especies con bajos costos económicos y ecológicos.

Muy relacionado con lo anterior es que una determinada especie puede ser perjudicial para el cultivo, aún después de pasada la etapa crítica de crecimiento del cultivo, si esta tiene efectos alelopáticos o si ocasiona dificultades para la cosecha (muy difícil penetrar a la parcela por su profuso desarrollo o por la presencia, por ejemplo, de espinas o semillas que causen heridas al campesino: *Amaranthus spinosus* y *Cenchrus insertus*). En casos así, el muestreo durante dicha etapa del cultivo permitirá hacer proyecciones a futuro sobre las necesidades de control, evitando que la infestación de tales especies de arvenses incremente sustancialmente los costos de producción.

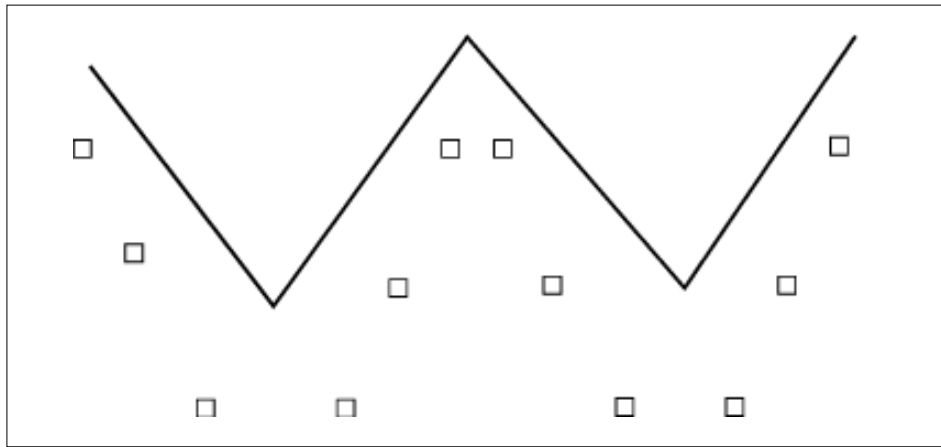
Diseño de muestreo

Un diseño comunmente utilizado para la selección de los puntos por muestrear en campos de productores, se conoce como “zig-zag” o “W”, que cae dentro de la clasificación de muestreo sistemático. Consiste en atravesar el campo caminando diagonalmente, dibujando así una W imaginaria, sobre la cual, a determinadas distancias (de forma sistemática), se localizará un punto de muestreo (Fig. 3).

Si el cultivo principal, por ejemplo, maíz, está sembrado en surcos, puede caminarsse un determinado número de pasos y cruzar entonces cierto número de surcos y tomar la muestra, y así sucesivamente hasta que los sitios en que los datos sean tomados puedan ser unidos por una línea imaginaria que forme la W. No debe muestrearse dentro de los límites o bordes del campo, que se establecen midiendo un número similar de pasos que el establecido entre puntos de muestreo sobre la W imaginaria.

La elección de la distancia entre muestras (cada determinado número de pasos) dependerá del número de cuadros necesarios para llevar a cabo la estimación sobre las características básicas de las arvenses. Tal distancia debe ajustarse al tamaño y forma del terreno (ya sea que este sea pequeño o trazado de forma irregular) y ello debe hacerse, desde luego, antes de empezar la caminata por el terreno.

Figura 3



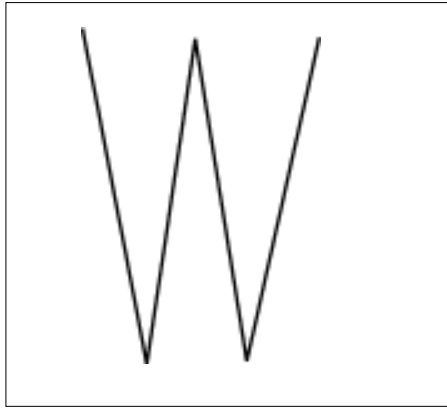
Trazo en forma de "W" para tomar muestras de arvenses. Los cuadritos indican los sitios equidistantes donde se coloca el cuadrante (50 x 50 cm) para las observaciones y/o cosecha de arvenses

Puede determinarse, por ejemplo, que el número de sitios de muestreo en un campo particular debe ser de diez (cuadrantes) para tener una buena estimación de las variables de interés, y que para lograrlo, asegurando cruzar el campo completamente, se requieran distancias entre cuadrantes de 10 ó 15 pasos (no es necesario que la distancia sea exacta (Figura. 3). En la Figura 4 se presentan diferentes esquemas de muestreo. Dos preguntas básicas deben formularse en relación con ellos: ¿son adecuados? ¿cumplen con la representatividad deseada?

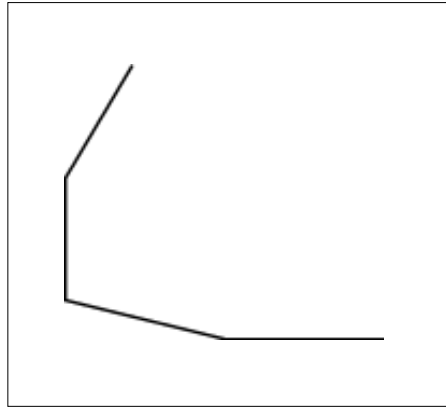
Número de cuadros requeridos para el muestreo

En párrafos anteriores se mencionó la forma de ubicar los sitios de muestro dentro de las parcelas que serían evaluadas y, de manera muy breve, se comentó la necesidad de establecer el número de cuadros requerido para lograr buenas estimaciones de las variables de interés en la investigación con arvenses. Es preciso, entonces, detallar más sobre este último aspecto, que es fundamental en el proceso de muestreo.

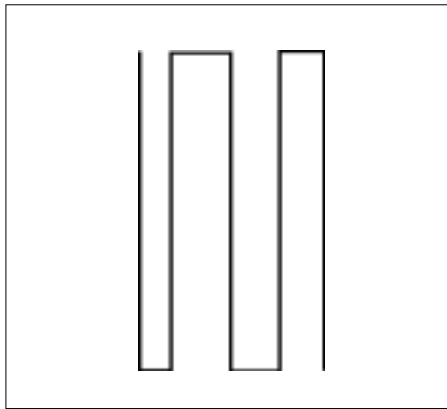
Figura 4



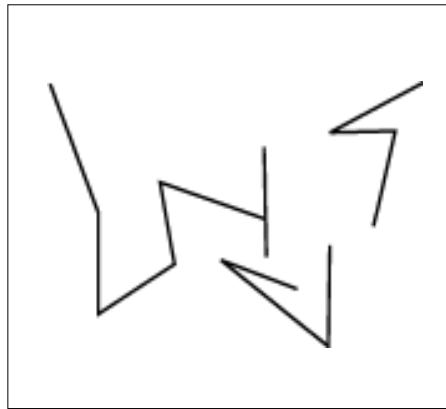
Esquema A



Esquema B



Esquema C



Esquema D

Tipos de esquemas para la selección de los sitios de muestreo de arvenses en parcelas de productores

No obstante la variabilidad de las poblaciones de malezas, es posible tener estimaciones precisas (importante sobre todo si se están evaluando métodos alternos de control de las arvenses), si se determina el número de observaciones necesarias (cuadrantes) en el muestreo a través del coeficiente de variación y la precisión relativa con que se desea estimar la media. La pregunta implícita se resumiría así: ¿cuántas observaciones se requieren para estar “seguros” (con un cierto nivel de confianza: 95%) de que la media de la muestra “represente” a la media verdadera (poblacional).

Existe una ecuación básica para estimar el tamaño de muestra:

$$n=t^2 \times C^2/P^2$$

donde:

n= número de observaciones requeridas en el muestreo (cuadrantes)

t= valor de t en tablas para el nivel de confianza de 95%

C= coeficiente de variación = desviación estándar/media x 100

P= límite dentro del cual se espera que se encuentre la verdadera media (poblacional), expresado como porcentaje de la media muestral.

El valor de t depende del tamaño de la muestra, pero eso es precisamente lo que se desea determinar; no obstante, para el nivel de confianza de 95% una aproximación aceptada es de 2. Así, la ecuación anterior para dicho nivel quedaría así:

$$n= 4C^2/P^2$$

La ecuación anterior implica conocer de antemano el coeficiente de variación lo que no siempre es posible, por lo que se requiere estimarlo. Hay varias formas de aproximarse a su valor:

- a) Usar en la ecuación el valor de C derivado de estudios anteriores. En muchos casos tales estudios no existen, fundamentalmente por que la evaluación que se plantea será de primera vez y no hay evaluaciones previas.
- b) A través de la desviación estándar (S) derivada de análisis previos. Este caso es parecido al anterior, pero aquí habría que estimar la media que se obtendría en el estudio por realizarse para poder calcular el coeficiente:

$$C= (S/media) \times 100$$

- c) Lo ideal sería contar con datos de un estudio preliminar (“en blanco”) realizado *ex profeso* para determinar la variabilidad del sitio antes de realizar la investigación principal (por ejemplo, efectividad de métodos distintos de control de arvenses). Esta información permitiría conocer de forma directa la desviación estándar de la media (Sx) o error estándar, lo que implica evaluar la variabilidad asociada con el tamaño de la muestra (número de muestras tomadas en el trabajo preliminar):

$$Sx: S/\text{raíz cuadrada de } n$$

donde:

S= desviación estándar de las observaciones del estudio preliminar

n= número de observaciones con las que se obtuvo la media en el estudio preliminar

Una vez obtenido el error estándar, si su valor está más allá del 10% alrededor de la media, debe calcularse el número de observaciones requerido para que no sobrepase tal límite. Ello se hace por medio de la siguiente ecuación:

$$n= 4S^2/L^2$$

donde:

n= tamaño de muestra (número de cuadros)

S²= varianza

L²= intervalo de confianza (por ejemplo, 25%)

El intervalo de confianza representa el espacio en el que la verdadera media (poblacional) podría ubicarse en relación con la media muestral (hacia arriba o por abajo de esta), con el nivel de confianza ya especificado.

Sin embargo, para estimar el tamaño de la muestra para la evaluación de las arvenses es pertinente considerar la alta variabilidad de sus poblaciones, dado su estado de agregación sobre el terreno. Por ello, se ha considerado la dificultad que implica disminuir los coeficientes de variación de tales poblaciones incrementando el tamaño de la muestra, llegando a la conclusión de que el muestreo necesario debe abarcar solamente del 5 al 10 % del área evaluada.

Una vez que se han “localizado” los sitios de muestreo en el terreno del productor, se realizan las siguientes observaciones básicas para establecer el diagnóstico; es decir, para determinar si la competencia por arvenses es una causa importante del estado del cultivo, o si puede llegar a serlo:

Altura de las arvenses en relación con el cultivo (la proporción de las mismas que son más altas o que cubren al cultivo)

Cobertura del terreno por las arvenses (en porcentaje)

Estadio de desarrollo del cultivo: la densidad de malezas en tal etapa (alta o baja) determinará la reducción o no del rendimiento)

Apariencia de las plantas del cultivo en sitios con alta presencia de arvenses en comparación con las que crecen en sitios con menos proliferación de las mismas; esto sería un indicativo de competencia por agua, luz o nutrientes, o posibles efectos alelopáticos de algunas malezas específicas sobre el cultivo.

Principales especies de arvenses presentes. Es importante indicar si son de hoja ancha o angosta, anuales o perennes. Ello es necesario, tanto para determinar un posible método de control (se ha hecho con la finalidad de aplicar herbicidas selectivos) o para evaluar la posible presencia de sustancias alelopáticas producidas por algún tipo específico de planta.

En terrenos de productores, las observaciones se deben realizar antes del control específico que el campesino efectúe, sea este manual o químico, o bien, después de haber realizado el control para evaluar el grado de eficacia del método empleado para tal fin.

Desde luego, todo el proceso de diagnóstico deberá conducir al establecimiento de las causas que generaron los problemas encontrados, para buscar o recomendar posibles soluciones (lo que da origen al establecimiento de nuevos objetivos en la investigación).

En el caso de las arvenses, la competencia marcada con el cultivo principal puede deberse a: deshierbe manual inadecuado; deshierbe tardío; aplicación inadecuada del herbicida); presencia de arvenses de difícil control, ya sea manual o químico; desarrollo de resistencia a los herbicidas (*Parthenium hysterophorus* es resistente al paraquat, por ejemplo); siembra tardía después de la preparación del terreno; presencia de especies con efectos alelopáticos sobre el cultivo, lo que afecta la capacidad competitiva de este; uso continuo de un mismo terreno por muchos años (como sucede en muchas regiones tropicales en la actualidad).

En los campos experimentales, la evaluación de los métodos alternativos de control de arvenses se da, desde luego, en condiciones controladas, a través de diseños experimentales en los que se prueban las nuevas opciones y se confrontan con los tratamientos tradicionales de control.

No se detallará aquí lo relacionado con los diseños experimentales seguidos en la investigación sobre arvenses, pero sí es necesario mencionar que básicamente el esquema seguido es el de bloques al azar, que se basa en la misma idea de la estratificación del terreno que se mencionó cuando la investigación se realiza en las propias comunidades campesinas.

Los bloques pueden establecerse transversalmente al gradiente reconocido de variación, como por ejemplo, la pendiente del terreno; otra forma de establecer los bloques es de acuerdo a zonas dentro del terreno que presenten niveles diferentes de alguna característica determinada, como la pedregosidad. En la zona henequenera de Yucatán, donde la cantidad de piedras en los terrenos es muy variable, se forman "parches" de menor a mayor pedregosidad que deben ser considerados a la hora de bloquear.

Herramientas para el muestreo de arvenses

En párrafos anteriores, hablamos de cómo seleccionar los sitios de muestreo y el número de ellos requeridos para realizar el diagnóstico de la problemática con las arvenses en los terrenos de productores y en condiciones experimentales. Sin embargo, aún falta detallar cómo tomar la muestra en cada punto en específico; es decir, qué instrumento o herramienta se requiere para tomar la muestra, y qué información acerca de las características de las arvenses es necesario registrar en el momento del muestreo y cómo debe procesarse la muestra para registrar otras variables de importancia para la evaluación.

Como ya se había mencionado, las medidas básicas en el muestreo de arvenses son: frecuencia, cobertura, densidad y biomasa. La última es de suma importancia en la evaluación de métodos de control de arvenses, pues implica el éxito que las especies tienen en la asignación de recursos y que se transforman en masa viva, lo que les permite competir con el cultivo. Sin embargo, la combinación de las otras permite una inspección detallada de la dinámica de estas especies en el agroecosistema así como seguir los cambios en la flora arvense a lo largo del tiempo, asociados con diferentes esquemas de manejo.

La elección de técnicas para estimar las variables mencionadas anteriormente está determinada por el tipo de vegetación que se esté evaluando; como las arvenses son básicamente herbáceas y trepadoras, se utilizan cuadros de metal o madera con medidas de 50 x 50 cm (0.25 m²) La utilización de cuadrantes es muy común en el estudio de vegetación, pero las dimensiones de los cuadros varían según se trate de arbustos, árboles o hierbas. Los cuadros de las dimensiones citadas para las arvenses, dadas su forma y las características de distribución de estas especies sobre el terreno, permiten su evaluación con precisión (repetibilidad) y certeza (valor verdadero de la población particular de arvenses) (Figura 5).

Aunque se ha mencionado en la literatura que los cuadrantes rectangulares son mejores que los cuadrantes cuadrados, porque al colocarse en el terreno en el sentido de una variación reconocible en el mismo dan estimaciones más confiables; lo cierto es que la variación en el campo no sigue solamente una dirección, sino que es bi o tridimensional, de tal suerte que la forma cuadrada se considera adecuada (Bonham, 1989).

Una vez seleccionados los puntos de muestreo (al azar o de manera sistemática: esquema de "W"), se colocan los cuadros sobre el terreno y se realizan las siguientes observaciones:

Cobertura del total de especies presentes en cada cuadro

Se realiza una estimación visual del porcentaje del área dentro de cada cuadro que es cubierta por las arvenses. De acuerdo con los objetivos del estudio, podría estimarse la cobertura de las especies más conspicuas, o determinar el porcentaje de cobertura de especies de hoja ancha y de hoja angosta (gramíneas, ciperáceas, etc.). Se establece una escala para determinar la cobertura: 0-5%, 5-10%, 10-25%, 25-50%, 50-75% y 75-100%.

Frecuencia de especies de arvenses por cuadro

La frecuencia se refiere a la presencia de una especie determinada en los cuadros de muestreo colocados en cada parcela; el rango de valores posibles que puede tomar va de 0 a 1. Un valor de 0 indica la ausencia de una especie determinada en la parcela evaluada, mientras que un valor de 1 indica que está presente en todos los cuadros de muestreo. Por ejemplo, si la especie *Parthenium hysterophorus* aparece en 9 de 10 cuadros de muestreo en una parcela determinada, su frecuencia absoluta será de 0.9. Esta medida puede expresarse como frecuencia relativa, considerando la frecuencia de la especie determinada entre la suma de las frecuencias absolutas de todas las especies presentes en los cuadros de muestreo, expresando este valor como porcentaje.

Figura 5



Cuadro de muestreo para arvenses de 50 x 50 cm.

Densidad

La densidad se refiere al conteo del número de individuos por especie presentes en cada cuadro de muestreo, y este valor se expresa como: no. de individuos/área. Por lo general se expresa como: individuos/m². Esta medida se ha empleado ampliamente para la valoración de vegetación arbórea y arbustiva, y en menor medida para vegetación herbácea, como las arvenses. Ello se debe a lo tedioso y lento del proceso de conteo, y se complica por el hecho de que en algunas especies es difícil identificar una planta individual, como sucede con las gramíneas que forman estolones de los cuales se forma una nueva planta, que bien pueden considerarse como un individuo propio. Sin embargo, esta limitante puede acotarse si se define con precisión lo que va a ser considerado como un individuo y respetar durante el muestreo esa decisión.

Biomasa

La medida de la biomasa es un indicativo de cómo los recursos son usados por especies particulares; es decir, qué éxito en cuanto a la asignación de recursos tienen las diferentes arvenses en un terreno de cultivo determinado. Cuando se coloca el cuadrante sobre el terreno se cosechan todas las especies presentes, incluyendo la raíz; es importante considerar que las plantas presentes se refiere a las que están enraizadas dentro del cuadro, o la parte de la planta que esté dentro del área delimitada por el mismo, como en el caso de los bejucos y arvenses rastreras (Figura 5).

Una vez que se cosechan las plantas, se procede a separarlas por especie, contando el número de individuos de cada una de ellas (para la estimación de la densidad), colocándolas posteriormente en bolsas de papel, que serán depositadas en una secadora a una temperatura de 80°C durante 72 hs (peso constante). Al transcurrir dicho tiempo, se procede a pesar el material seco para cada especie, registrando el valor como g/m² (peso seco).

Contando ya con la información de estas características, corresponde al investigador “leer” lo que sus resultados le indican en relación con sus objetivos particulares de estudio y sacar las conclusiones pertinentes.

Los métodos de análisis de la información, sobre todo cuando los datos provienen de experimentos controlados, se basan en el análisis de varianza. Por ejemplo, la biomasa total de arvenses en diferentes tratamientos de control, puede analizarse a través del programa estadístico SAS, o de algún otro programa conocido, utilizando, de ser posible, contrastes ortogonales para la separación de me-

días. Asimismo, la dinámica de las arvenses puede evaluarse a través de los valores de importancia relativa (VIR) de cada especie, como se presentó en la Figura 1, para el caso de la dominancia de *Parthenium hysterophorus*.

En conclusión, se observa que antes del muestreo en sí se siguen los pasos lógicos de conocimiento del terreno y estratificación del mismo de acuerdo a su variabilidad; la actividad en sí de toma de datos en el campo es una parte de todo el proceso de análisis de la vegetación de arvenses.

Tener en cuenta todos los pasos de este proceso permitiría llegar a establecer diagnósticos precisos acerca de la problemática con estas especies, sugerir medidas preventivas o correctivas, y evaluar la eficiencia de métodos de control basados en el manejo más que en la erradicación de las mismas.

Referencias

- Akobundu I. O. 1983. No-tillage weed control in the tropics. In: Akobundu I. O. y Deutsch A. E. (Eds.). No-Tillage Crop Productions in the Tropics. Proceedings, 6-7 august, 1981. Monrovia, Liberia. International Plant Protection Center, Oregon State University, Corvallis, OR, EUA. Pp. 32-44.
- Altieri M. A. 1988. The impact, uses and ecological role of weeds in agroecosystems. In: Altieri M.A. y Liebman M. (Eds.). *Weed management in agroecosystems: Ecological approaches*. CRC Press, Florida, EUA. Capítulo 1.
- Anaya A. L. 1993. La actividad biológica de *Canavalia ensiformis* y *Stizolobium pruriens* como especies controladoras de arvenses dentro de agroecosistemas tropicales sostenibles. Informe. Laboratorio de Ecología Química, Instituto de Fisiología Celular, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Bonham Ch. 1989. Measurements for terrestrial vegetation. John Wiley & Sons. New York, EUA.
- Buckles D. y Barreto H. 1994. Aumentando la sustentabilidad de los sistemas de agricultura migratoria con leguminosas de cobertura: consideraciones técnicas y socioeconómicas. En Taller sobre las políticas para una agricultura sustentable en la sierra de Los Tuxtlas y Santa Marta, Veracruz, 3-4 de marzo, 1994. Veracruz, Veracruz, México. Pp. 123-138.
- Burril L. C., Cárdenas J. y Locatelli E. 1977. Manual de campo para investigación en control de malezas. International Plant Protection Center. Oregon State University, Corvallis, Oregon, EUA.
- Caamal J. A. 1985. Algunos aspectos ecológicos de un sistema agrícola de policultivo en una zona tropical húmeda. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. México.
- Caamal J. A., del Amo S. 1986. Comparación de la dinámica de las especies arvenses en sistemas de monocultivo y policultivo. *Biótica*, 11(2):127-136.

- Caamal J. A., del Amo S. 1987. La milpa múltiple como punto de partida de manejo de la sucesión secundaria. *Turrialba*, 37(1):1-25.
- Caamal J. A., Jiménez J. y Valverde B. 1996. Utilización de leguminosas como cobertura para el control de malezas en maíz, en Yucatán, México, como alternativa al sistema de roza-tumba-quema. *Red Gestión de Recursos Naturales, segunda época*, 4:31-37.
- Caamal, A.; Jiménez, J. 1999. El control de arvenses en el sistema de cultivo de maíz en Yucatán, México. En prensa.
- Caamal J. A., Jiménez J., Torres-Barragán A. y Anaya A. 2001. The use of allelopathic legume cover and mulch species for weed control in cropping systems. *Agronomy Journal*, 93(1):27-36.
- Chacón E., Gliessman S. R. 1982. The use of the "nonweed" concept in traditional tropical agroecosystems of southeastern Mexico. *Agroecosystems*, 8(1):1-11.
- Davis J., Woolley J. y Moreno R. 1986. Multiple cropping with legumes and starchy roots. In Francis Ch. (Ed.). *Multiple cropping systems*. Macmillan, New York. EUA. Pp.133-160.
- De la Cruz R. 1992. Las coberturas vivas como ayuda en el manejo de malezas. En IV Congreso Internacional de Manejo Integrado de Plagas, 20-24 de abril. Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Honduras.
- Escarzaga E. 1987. Determinación del potencial alelopático del "nescafé" (*Stizolobium pruriens* (L) Medic var. *utilis* Wallex Wight) sobre cinco cultivos y tres malezas. Tesis licenciatura. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Querétaro. Querétaro, Méx.
- FAO. 1992. Taller regional "Manejo de la maleza caminadora". Memorias. Managua, Nicaragua: 18-22 de mayo de 1992. Managua, Nicaragua.
- Fround R. J. 1988. Changes in weed flora with different tillage and agronomic management systems. In: Altieri M. A. y Liebman M. (Eds.). *Weed management in agroecosystems: Ecological approaches*. CRC Press, Florida, EUA. Capítulo 13.
- Hart R. 1985. *Conceptos básicos sobre agroecosistemas*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica.
- Lafitte H. R. 1994. Identifying production problems in tropical maize: a field guide. CIMMYT. Mexico, D.F. México.
- Liebman M. 1988. Ecological suppression of weeds in intercropping systems: a review. In: Altieri M.A. y Liebman M. (Eds.). *Weed management in agroecosystems: Ecological approaches*. CRC Press, Florida, EUA. Capítulo 12.
- Locatelli E. y Petersen R. 1975. Algunos "trucos" útiles en estadística. IPPC. Oregon State University. Corvallis, Oregon. EUA.
- Merino C., Cruz R., Piaggio G. y Pareja M. 1992. Comportamiento ecológico del banco de semillas de malezas bajo condiciones del trópico húmedo. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)*, 24-25:8-17.
- Obando L. 1987. Potencial alelopático de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud sobre los cultivos de maíz y frijol y las malezas predominantes. Tesis M. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica.

- Patriquin D. G. 1988. Weed control in organic farming systems. In: Altieri M.A. y Liebman M. (Eds.). *Weed management in agroecosystems: Ecological approaches*. CRC Press, Florida, EUA. Capítulo 17.
- Ramakrishnan P. S. 1988. Successional theory: implications for weed management in shifting agriculture, mixed cropping and agroforestry systems. In: Altieri M. A. y Liebman M. (Eds.). *Weed management in agroecosystems: Ecological approaches*. CRC Press, Florida, EUA. Capítulo 11.
- Terán S. 1992. La modernización de la milpa yucateca: utopía o realidad. In: Zizumbo D., Rasmussen Ch., Arias L. M. y Terán S. (Eds.). *La Modernización de la Milpa en Yucatán: Utopía o Realidad*. CICY-DANIDA, México. Introducción. p. 21-25.
- Vandermeer J. 1989. *The ecology of intercropping*. Cambridge University Press, Cambridge, Gran Bretaña.
- Wilson G. F. y Akapa K. L. 1983. Providing mulches for no-tillage cropping in the tropics. In: Akobundu I. O. y Deutsch A. E. (Eds.). *No-Tillage Crop Productions in the Tropics*. Proceedings, 6-7 august, 1981. Monrovia, Liberia. International Plant Protection Center, Oregon State University, Corvallis, OR, EUA. Pp. 51-65.
- Wilson R. G. 1988. Biology of weed seeds in the soil In: Altieri M.A. y Liebman M. (Eds.). *Weed management in agroecosystems: Ecological approaches*. CRC Press, Florida, EUA. Capítulo 3.
- Zimdahl R. 1979. *Weed-crop competition*. A review. International Plant Production Center, Oregon State University, EUA.

13

ANIMALES DE TRASPATIO

José C. Segura Correa¹

Introducción

La situación económica y nutrimental de un gran sector de la población mexicana es cada día más grave. En lo que respecta a la población rural, ésta presenta un elevado índice de desnutrición, afectando este problema en mayor grado a los niños. La Encuesta Nacional de Alimentación en el Medio Rural 1989 indica que el 49% de los niños menores de cinco años sufre de algún grado de desnutrición (Ku-Vera, 1995). Entre los agrosistemas más importantes para el sustento de las familias rurales o marginadas están los solares o huertos familiares que se desarrollan alrededor de la vivienda. Como características distintivas de estos sistemas se destacan la alta diversidad y la riqueza de especies, siendo su función, en la mayoría de los casos, la obtención de alimentos complementarios a la dieta familiar (De la Torre y Torres, 1978).

En México la producción agropecuaria es sustentada en parte, por productores campesinos, que utilizan pequeñas parcelas de tierra o los patios de sus casas, empleando para su manejo recursos limitados y mano de obra familiar (Berdugo, 1987). Estas unidades familiares de producción funcionan con una lógica distinta a la de una empresa capitalista; ellas realizan sus actividades agropecuarias, no como un negocio comercial sino para autoconsumo o venta en caso de una necesidad económica apremiante.

Dentro de la diversidad de actividades practicadas por estas unidades familiares, tales como la agricultura, la artesanía, venta de mano de obra y otras, se

¹ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán. Km. 15.5 carretera Mérida-Xmatkuil, Apdo. postal 4-116, Mérida, Yucatán, México. CP. 97100.

encuentra la cría de animales de traspatio, también denominada “ganadería de solar”, la cual consiste en la producción de especies domésticas con un mínimo de infraestructura basada en el uso de los recursos excedentes de la unidad familiar y conocimientos empíricos. Una de las características del sistema de producción es que los animales funcionan como transformadores de productos de desechos agrícolas o caseros, además de productos no comerciales (hierbas, semillas, cáscaras, insectos, etc.) estos últimos cosechados por los propios animales en sus recorridos cotidianos. Según Stuart (1993), los productos animales contribuyen con el 9% de las calorías, 10% de las proteínas, 47% de la grasa y más del 10% de riboflavina, niacina y vitamina A de la dieta de la familia rural.

Ante la necesidad de nuestro país de incrementar cada día la producción de alimentos de origen animal y mejorar la dieta de las familias marginadas se hace preponderante mejorar los sistemas de explotación animal a cualquier nivel, por lo que el impulso y desarrollo de la producción animal de traspatio podría desempeñar un papel trascendental en la comunidad. Dicho impulso buscaría, antes que el lucro o la ganancia, la mejora de la dieta de los habitantes del medio rural. Sin embargo, para mejorar la ganadería de traspatio es indispensable que el profesional conozca el sistema de producción, sus componentes biológicos y las posibilidades que se tienen de manejarlos como recursos. Para alcanzar este objetivo se requiere del conocimiento de técnicas de muestreo que permitan a partir de una muestra caracterizar la población. En este texto se discuten los pasos para la realización de un muestreo en poblaciones de animales de traspatio, los tipos de muestreo, aspectos prácticos a considerar, las fórmulas apropiadas para estimar el tamaño de muestra y algunos ejemplos.

Bases teóricas

En general los estudios de la ganadería de traspatio pueden estar dirigidos hacia un conocimiento general del sistema, que involucra la medición de muchas variables a la vez, o un conocimiento de un aspecto particular que involucra el estudio de sólo unas pocas variables. Las caracterizaciones de sistemas están relacionadas normalmente a encuestas complejas que involucran el conocimiento de aspectos socioeconómicos, de manejo, alimentación, salud, reproducción etc. de la producción animal de traspatio en una región, como los estudios realizados por Berdugo (1987) o en sistemas de producción animal comercial por Osorio (1972), Segura (1980), Anderson et al. (1990). Los estudios de aspectos particulares del sistema se refieren a aquellos en los cuales se quiere conocer, por ejemplo, la población animal según las especie y estratos de edad, determinar el peso de los

lechones al destete, la frecuencia de mortalidad de lechones, la preferencia de las familias por una especie o raza o la prevalencia de viruela en pavos etc., por citar algunos.

Sin embargo, sea el interés el conocimiento general o particular, los objetivos del estudio deben ser establecidos claramente. Si las preguntas para el logro de los objetivos son mal planteadas los resultados serán de poco valor. El establecimiento claro y preciso de los objetivos de investigación son de enorme ayuda. Así mismo, es conveniente que todos los datos colectados en la encuesta sean relevantes a los propósitos de la investigación y que ningún dato esencial sea omitido.

La información a obtener de un estudio de muestreo de sistemas de producción animal, puede lograrse a través de métodos indirectos o directos. Por ejemplo, la información sobre la prevalencia de viruela en pavos menores de 10 semanas se puede obtener a través de preguntarle a las amas de casa si sus animales han padecido o no la enfermedad (método indirecto) o a través del examen clínico externo (método directo) por el encuestador. Otro ejemplo, sería preguntar al ama de casa cuantas gallinas tienen (método indirecto) o a través del conteo de las aves por el entrevistador (método directo).

Después de tener bien claro los objetivos de la investigación es importante elaborar la encuesta o la hoja de registro de la información, la cual debe de ser probada antes de su aplicación extensiva. Así mismo, la población objetivo y las unidades de muestreo deben de estar claramente definidas. Por ejemplo, para la caracterización de la producción animal de traspatio la población de interés podría ser todas las familias de las comunidades de la región centro de un estado, de un municipio o de una comisaría. Es importante también conocer la diferencia entre lo que es una unidad de muestreo y una unidad de interés. Aclaremos estos conceptos con un ejemplo. Suponga que se desea estimar el tamaño de camada de las marranas en traspatio en una comunidad, pero no se tiene una lista de todas las marranas (unidad de interés) sólo de los predios o casas en esa comunidad. Entonces podemos seleccionar predios de la comunidad (unidades de muestreo) y todas o algunas marranas de cada casa. La lista de las unidades de muestreo constituye lo que se conoce como marco de muestreo. En ocasiones, las unidades de muestreo y las unidades de interés coinciden. Por ejemplo, cuando se desea conocer el número de habitantes por casa en una comunidad rural, en este caso, las unidades de muestreo y de interés son las mismas.

Otro ejemplo podría aclarar más aun la diferencia entre unidades de muestreo y unidades de interés. Suponga que se desea conocer la seroprevalencia de *salmonella* spp en gallinas adultas de la zona henequenera de Yucatán. Aquí la unidad de interés es la gallina, sin embargo, es difícil obtener una lista de todas las gallinas (población de interés). Tal vez se pueda obtener una lista de las casas

de las comunidades de la zona henequenera (marco de muestreo) y seleccionar al azar un número apropiado de casas (de acuerdo a una fórmula para calcular el tamaño de muestra) y dentro de casa tomar muestras de sangre de las gallinas.

El siguiente paso es determinar cuantas unidades de muestreo y/o interés deben ser medidos para obtener buenos estimadores de los parámetros (medias, varianzas, porcentajes) de las variables de interés (tamaño de camada, número de gallinas, porcentaje de familias que vacunan etc.).

Para estimar el tamaño de muestra se requiere conocer la varianza de la variable de interés, la precisión que se desea del estimador y el nivel de confianza deseado. Cuando la varianza es desconocida, como ocurre la mayoría de las veces, un estimador de esta podría obtenerse de un estudio piloto.

Los resultados de un muestreo están siempre sujetos a cierto grado de incertidumbre como consecuencia de que sólo se estudia una parte de la población y a que existen errores de medición atribuibles a la colección de los datos de campo. La precisión deseada (máximo error aceptable en el estudio) en los resultados se determina con base en la experiencia del investigador, aunque en muchas características biológicas las precisiones de 5 o 10% son las más usadas. Es decir, se quiere un estimador cuya diferencia con respecto al parámetro no sea mayor del 5 o 10%. Así por ejemplo, si la media de peso al destete de los cerdos es de 14 kg a los 42 días y se quiere una precisión del 5%, se dice que la diferencia entre el estimador y el parámetro no debe ser mayor de 0.7 kg, con una probabilidad o nivel de confianza dado. En las ciencias agropecuarias y de la salud los niveles de confianza del 95 o 99% son los más utilizados.

Finalmente el tamaño de muestra depende del tipo de muestreo o sea de la forma en que se obtienen las muestras. Brevemente, si las unidades de muestreo se seleccionan al azar de una lista de unidades de muestreo, entonces el muestreo es simple al azar. Si la población se divide en estratos (por ejemplo, regiones, tipo de tenencia de la tierra) y dentro de cada estrato se selecciona una muestra aleatoria de unidades de muestreo, el tipo de muestreo es estratificado al azar. Si las unidades a muestrear son grupos de unidades de interés (conglomerados, por ejemplo ranchos, familias, parcelas) y se muestrean todas las unidades de interés de cada grupo, el muestreo se denomina muestreo por conglomerados; pero, si sólo se toma una muestra de las unidades de interés de cada grupo, el muestreo es multi-etápico.

A continuación se proporciona información sobre las características de cada uno de los diseños de muestreo, sus fórmulas para el cálculo de tamaño de muestra y ejemplos de su uso.

Muestreo simple al azar

Consiste en la selección aleatoria de “**n**” unidades de una población objetivo, de tal manera que cada una de éstas tenga la misma oportunidad de ser escogida y se usa principalmente cuando la población es homogénea. Para elegir las unidades de muestreo, se hace una lista de todas las unidades de la población (marco de muestreo) y se obtienen las unidades que constituirán la muestra a través de un sorteo o por tablas de números aleatorios. El propósito de esto es asegurar que cada unidad tomada tenga la misma probabilidad de ser seleccionada y que la muestra sea representativa de la población en estudio.

Como ejemplos del muestreo simple aleatorio se pueden citar:

1. Seleccionar de una lista de lechones un número de ellos para estimar su peso promedio al destete.
2. Seleccionar de una lista de camadas de lechones en una comunidad una muestra para determinar el promedio de tamaño de camada.
3. Seleccionar de una lista de animales aquellos que serán sangrados para estimar el porcentaje de seropositivos (seroprevalencia de una enfermedad).
4. Seleccionar, en una región con manejo similar las unidades a entrevistar para estimar la producción de huevos por patio.

Tamaño de muestra para estimar la media o el total de una población

Para obtener el tamaño de muestra para estimar la media aritmética o el total de una población finita mediante un muestreo simple se necesita conocer: la variabilidad esperada en la variable de interés; el nivel de precisión requerido; el nivel de confianza deseado; y el tamaño de la población.

El tamaño de muestra se calcula suponiendo que la población es infinita y ajustando luego por el tamaño real de la población. En un muestreo simple al azar la fórmula para calcular el tamaño de muestra para una variable cuantitativa en una población infinita es:

$$\underline{n_{\infty} = \frac{Z^2 DE^2}{d^2}}$$

donde: **n** = Tamaño de muestra para una población infinita; **DE** = Desviación estándar esperada; **Z** = Valor crítico de la tabla de la distribución de Z al nivel de confianza deseado; **d** = Nivel de precisión deseado.

Para obtener el tamaño de muestra de la población objetivo, se multiplica el valor de n por el ajuste por tamaño de población y se obtiene el tamaño de muestra apropiado, de acuerdo con la siguiente fórmula.

$$n = \frac{n_{\infty}}{1 + \frac{n_{\infty}}{N}}$$

donde: n = Tamaño de muestra para la población finita; n_{∞} = Tamaño de muestra para la población infinita; N = Tamaño de la población.

Ejemplo. Determinar el tamaño de muestra para estimar el promedio de peso de la camada en lechones criados bajo condiciones de traspatio, considerando una precisión de 2 kg y una confiabilidad del 95% ($Z= 1.96$) en una comunidad con 200 marranas. La varianza se estimo en $DE^2 = 120 \text{ kg}^2$.

Los tamaños de muestra para las población infinita y finita o real son:

$$n_{\infty} = \frac{3.84 * 600}{25} = 92 \text{ camadas} \qquad n = \frac{115}{1 + \frac{115}{200}} = 73 \text{ camadas}$$

Es decir se deben muestrear 73 de las 200 camadas para obtener un estimador de media de peso de la camada al destete con una precisión de 2 kg y un nivel de confianza del 95%.

Estimación de la media de una población e intervalo de confianza.

Una vez determinado el tamaño de muestra apropiado, se obtiene la información de las unidades de interés y se estima la media de la población.

La media de la muestra y su error estándar (EE) se calculan como:

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n} \qquad EE = \sqrt{\frac{DE^2}{n} \left(1 - \frac{n}{N}\right)}$$

donde: $(1-n/N)$ es el factor de corrección para una población finita.

Para propósitos prácticos, cuando $n/N < 0.05$ (es decir menor del 5%) el factor de corrección puede ser ignorado. El intervalo de confianza para la media se calcula como:

$$\bar{y} - t(EE) < m < \bar{y} + t(EE)$$

donde: t = Valor crítico de la distribución de t de Student correspondiente al tamaño de muestra y con el nivel de significancia deseado. Cuando n es mayor de 200, el valor crítico de t se aproxima al valor crítico de la distribución de Z .

Nota: En el ejemplo anterior, se consideró que DE^2 era 120 kg². Sin embargo, en muchos casos, el valor de la varianza de la población se desconoce. ¿Qué se hace en ese caso? Se calcula a partir de los datos de un estudio piloto. Se recomienda una muestra de tamaño 30 o mayor.

Estimación del total de una población e intervalo de confianza

Un segundo parámetro que a menudo se estima es el total de la población (Y). Por ejemplo, se quiere estimar el consumo de pollo por familia en una comunidad. La idea básica es emplear la relación: $Y = \text{Total} = N\mu$ y usar el estimador de la media de la población, \bar{y} , para estimar el total. El total estimado de la población se obtiene como:

$$\hat{Y} = N\bar{y} = N \frac{\sum y}{n} \text{ y la varianza del total se obtiene con la fórmula:}$$

$$DE^2(\hat{Y}) = N^2 \frac{DE^2}{n} \left(\frac{N-n}{N} \right)$$

donde: DE^2 es la varianza de la muestra y $DE_{(\hat{Y})}^2$ es la varianza del total estimado.

Las fórmulas para el error estándar e intervalo de confianza del total son:

$$EE_{(\hat{Y})} = \sqrt{DE_{(\hat{Y})}^2}$$

$$\hat{Y} - t^* EE_{(\hat{Y})} < Y < \hat{Y} + t^* EE_{(\hat{Y})}$$

Ejemplo: Estimar el número de huevos que consumen por día todos los niños de 6 a 12 años de una comunidad, donde la población es de $N=2000$ niños. Suponga que se selecciona una muestra aleatoria de $n=100$ niños y el promedio de huevos consumidos para la muestra es de 0.8 huevos. Entonces, si el tamaño de muestra es el apropiado, el total de huevos que se consume diariamente sería,

$$\hat{Y} = N\bar{y} = 2000(0.8) = 1,600 \text{ huevos.}$$

Si $DE = 0.3$ huevos, es la desviación estándar de la muestra para la variable consumo diario de huevo, entonces la varianza estimada y error estándar del total de huevos es:

$$DE^2(\hat{Y}) = 2000^2 \frac{0.3^2}{100} \left(1 - \frac{100}{2000}\right) = 3,420 \text{ y}$$

$$EE^2(\hat{Y}) = \sqrt{DE^2(\hat{Y})} = \sqrt{3,420} = 58.5 \text{ litros} = 58.5 \text{ huevos}$$

El intervalo de confianza al 95% de confianza para el total sería:
 $1,600 - 1.98 (58.5) < m < 1,600 + 1.98 (58.5) = 1,484.17 < m < 1,715.83$

Es decir, el consumo total de huevos en la población se encuentra entre 1,484.17 y 1,715.83 huevos.

Tamaño de muestra para estimar una proporción o prevalencia en una población

Otro parámetro para el cual con frecuencia se requiere una estimación es la proporción o prevalencia (P) en una población. Este parámetro es de interés cuando se desea estimar la prevalencia de una enfermedad, la proporción de familias que tienen gallineros en sus patios o la proporción de familias que vacunan a sus animales. La prevalencia es el porcentaje de individuos enfermos en una población en un momento dado.

Para obtener el tamaño de muestra para estimar una proporción se requiere conocer: La prevalencia esperada; nivel de precisión requerido; nivel de confianza deseado y el tamaño de la población. Al igual que para el caso de una variable continua se calcula primero el tamaño de muestra para una población finita y luego se ajusta por el tamaño real de la población.

$$n_{\infty} = \frac{Z^2 pq}{d^2} \text{ y } n = \frac{n_{\infty}}{1 + \frac{n_{\infty}}{N}}$$

donde: n_{∞} = Tamaño de muestra para una población infinita; Z = Valor de Z para el nivel de confianza requerido (e.g. 1.96 para 95%); p = prevalencia esperada; $q = 1-p$, y d = precisión (máximo error) deseada y n = tamaño de muestra para la población objetivo.

Ejemplo. Una muestra piloto de $n = 50$ familias se selecciona de $N = 4000$ y se encuentra que 30 de ellos vacunan a sus animales. ¿De qué tamaño deberá ser la muestra para estimar el porcentaje de familias que vacunan en la población, con una precisión del 5% y una confiabilidad del 99%?

La solución consiste en calcular la proporción de familias que vacunan en la muestra, es decir: $p = 30/50 = 0.6$; $q = 1-p = 1-0.6=0.4$; además, $d = 0.05$; y $Z = 2.58$, valor de la tabla de Z de dos colas y 99% de confianza.

Por lo tanto, los tamaños de muestra para la población infinita y finita son:

$$n = \frac{2.58^2(0.6)(0.4)}{0.05^2} = 639.2 \text{ y } n = \frac{639}{1 + 639/4000} = 551$$

Es decir se requieren muestrear 551 familias.

Estimación de una proporción o prevalencia en una población e intervalo de confianza.

Suponga que se desea estimar la proporción de ovejas con parásitos internos en una comunidad; entonces la proporción de ovejas infectadas se obtiene dividiendo el número de ovejas positivas entre el total de ovejas muestreadas.

Las fórmulas para estimar la varianza, error estándar e intervalo de confianza de una proporción de muestreo p son:

$$DE_p^2 = pq \left(1 - \frac{n}{N}\right); \quad EE_p = \frac{DE_p}{\sqrt{n-1}} \quad \text{y} \quad p - t(EE_p) < P < p + t(EE_p)$$

Ejemplo: Se desea determinar la prevalencia de diarrea en crías de un hato de ganado *Holstein* en el trópico. Una muestra de 250 animales de $N = 1000$ indicó que 50 animales presentaron diarrea. Entonces, la prevalencia estimada (p) y su EE son:

$$p = \frac{a}{n} = \frac{50}{250} = 0.20 \quad DE_p^2 = pq \left(1 - \frac{n}{N}\right) = (0.20)(0.80) \left(1 - \frac{250}{1000}\right) = 0.152$$

$$EE_p = \frac{DE_p}{\sqrt{n-1}} = \frac{0.152}{\sqrt{49}} = 0.022$$

El intervalo de confianza para P al 95% sería:

$$p - t*EE_p < P < p + t*EE_p \quad 0.20 - 1.96(0.022) < P < 0.20 + 1.96(0.022) = 0.157 < P < 0.243$$

Es decir, no se conoce la prevalencia en la población porque no se muestrearon todas las crías, pero se puede asegurar con un 95% de confianza que se encuentra entre 15.7% y 24.3%.

Muestreo estratificado al azar

Suponga que se quiere estimar el número de pavos de traspatio por casa en la zona centro de Yucatán y cabría esperar de que en el medio rural el número de animales por casa sea mayor que, en las casas conurbanas. Cuando el muestreo simple al azar se aplica a una distribución como ésta, existe la posibilidad de que ninguna o cuando más unas cuantas de las casas rurales aparezcan en la muestra; como consecuencia, la muestra puede o no ser representativa de la población. ¿Qué se recomienda? Las casas podrían ser divididas en rurales y conurbanas y posteriormente elegir cierto número de casas dentro de cada uno de los grupos. El proceso de dividir la población en subgrupos y seleccionar una muestra aleatoria de cada estrato, de combinar estas submuestras en una sola, y estimar los parámetros de la población de estudio se denomina *Muestreo Estratificado al Azar*. La división de la población en estratos debe considerar la variable de interés; así, si se quiere medir la producción de huevos de gallina en los sistemas de traspatio del estado de Yucatán, quizá sea conveniente estratificar según la región (Centro, Oriente y Sur).

Hay varias razones para utilizar este tipo de muestreo: 1.- Puede incrementar la precisión. 2.- Asegura el muestreo de cada estrato de la población disponiéndose así de información por separado para cada uno de los estratos. 3.- Las condiciones administrativas o físicas pueden hacer más fácil la obtención de los datos, ya que generalmente es difícil estratificar con respecto a la variable bajo consideración. Algunos de los ejemplos siguientes pueden servir de base para familiarizarse con la idea de estratificar una población.

- Una comunidad puede estratificarse de acuerdo con el nivel de ingreso de los productores o según el tamaño del patio.
- Un región puede dividirse para fines de conocer las características familiares en: población urbana, semiurbana y rural.
- Un estado puede ser dividido para fines de conocer las características de los

datos ganaderos en regiones (oriente, centro y sur) o según el tipo de productores (particulares, ejidatarios y comuneros).

Tamaño de muestra para estimar la media o el total de una población

Para obtener el tamaño de muestra para estimar la media o el total de una población mediante un muestreo estratificado al azar, se necesita conocer: La variación por estrato en la variable de interés; el nivel de precisión requerido; el nivel de confianza deseado y el tamaño de cada estrato.

Para calcular el tamaño de muestra se utiliza la fórmula,

$$n = \frac{NZ^2 \sum N_e DE_e^2}{N^2 d^2 + Z^2 \sum N_e DE_e^2}$$

donde: n = Tamaño de muestra; N = Tamaño de la población; N_i = Número de individuos en el estrato i ; DE_e^2 = Varianza del estrato i ; d = Precisión deseada y Z = Valor crítico de la distribución de Z .

Ejemplo: Se desea conocer la ganancia de peso (GP) de borregos *Pelibuey* en una localidad, a través de una encuesta. Se sabe, que la GP depende, entre otras cosas, del sistema de alimentación, por lo que la lista de rebaños se dividió en tres grupos: manejo extensivo con pasturas nativas (estrato I), manejo extensivo con pasturas mejoradas (estrato II) y manejo semi-intensivo (estrato III). Se sabe además que existen 520, 870 y 180 ranchos en cada uno de los estratos.

Como se desconocían las GP en la población y en los estratos, se hizo un muestreo piloto. Una encuesta de aproximadamente el 5% de los ganaderos de cada estrato (26, 44 y 10) proporcionó las siguientes medias y desviaciones estándar para los estratos I, II y III, respectivamente, 140 ± 37 , 180 ± 30 y 210 ± 35 g. Basado en estos datos se calculó el tamaño de muestra con una precisión de 5 g y una confiabilidad del 95%.

Solución:

$$n = \frac{NZ^2 \sum N_e DE_e^2}{N^2 d^2 + Z^2 \sum N_e DE_e^2} = \frac{1570(1.96^2)[520(37)^2 + 870(30)^2 + 180(35)^2]}{1570^2(5)^2 + \{1.96^2[520(37)^2 + 870(30)^2 + 180(35)^2]\}} = 152$$

Es decir se necesitan muestrear 152 ranchos.

Una vez elegido el tamaño de muestra n existen varias maneras de asignar las muestras a cada uno de los estratos, de tal manera que se obtenga una cantidad de información a un costo mínimo.

La mejor asignación del tamaño de muestra es influida por tres factores: 1-El tamaño del estrato. Por ejemplo, una muestra de 30 elementos en una población de 300 proporciona mayor información que una muestra del mismo tamaño en una población de 3000 elementos. 2.- La variación dentro de cada estrato. La variación debe ser considerada ya que una población heterogénea requiere de un tamaño de muestra mayor para obtener la misma información que una población más homogénea. 3- El costo de obtener una observación dentro de cada estrato. El costo de obtener una observación varía de estrato a estrato, menores tamaños de muestra podrían tomarse de los estratos más costosos. Esto es así porque el objetivo es mantener los costos del muestreo al mínimo.

Asignación de la muestra proporcional al tamaño del estrato

Cuando la fracción de muestreo es la misma para todos los estratos, la estratificación se conoce como “Estratificación Proporcional”. La distribución proporcional del total de la muestra en cada estrato es:

$$n_i = \frac{N_i}{N}n$$

donde: n_i es el tamaño de la muestra para el estrato “i”; n = tamaño de muestra para la población y N_i = tamaño del estrato i .

Ejemplo: El tamaño total de la muestra para la población del ejemplo anterior fue de 152 y el tamaño de cada estrato de 520, 870 y 180; por lo tanto el tamaño de la población fue de 1570.

El tamaño de muestra para el estrato I, II y III sería:

$$n_1 = \frac{520}{1570} 152 = 50 \quad n_2 = \frac{870}{1570} 152 = 84 \quad n_3 = \frac{180}{1570} 152 = 18$$

Asignación óptima de costo mínimo

Cuando el costo de obtener una observación varía de un estrato a otro, es posible tomar un tamaño de muestra menor en los estratos más costosos, siendo la fórmula apropiada para la asignación de las muestras la siguiente:

$$n_i = n \left(\frac{\frac{N_i DE_i}{\sqrt{c_i}}}{\sum \frac{N_i DE_i}{\sqrt{c_i}}} \right)$$

donde: n_i = tamaño de muestra para el estrato i ; n = tamaño de muestra para la población; N_i = tamaño del estrato i ; DE_i = desviación estándar para el estrato i ; C_i = costo de obtener una observación en el estrato i .

Ejemplo: Utilice la información del ejemplo anterior, pero suponga ahora que el costo de tomar una muestra en la región I,II y III es de: \$49, \$25 y \$25, respectivamente. ¿Cuál es el tamaño de muestra para cada estrato?

$$n_1 = \frac{N_1 DE_1 / \sqrt{c_1}}{N_1 DE_1 / \sqrt{c_1} + N_2 DE_2 / \sqrt{c_2} + N_3 DE_3 / \sqrt{c_3}} n = \frac{520(74) / \sqrt{49}}{520(74) / \sqrt{49} + 870(30) / \sqrt{25} + 180(35) / \sqrt{25}} 152 = 60$$

$$n_2 = \frac{N_2 DE_2 / \sqrt{c_2}}{N_1 DE_1 / \sqrt{c_1} + N_2 DE_2 / \sqrt{c_2} + N_3 DE_3 / \sqrt{c_3}} n = \frac{870(30) / \sqrt{25}}{520(74) / \sqrt{49} + 870(30) / \sqrt{25} + 180(35) / \sqrt{25}} 152 = 74$$

$$n_3 = \frac{N_3 DE_3 / \sqrt{c_3}}{N_1 DE_1 / \sqrt{c_1} + N_2 DE_2 / \sqrt{c_2} + N_3 DE_3 / \sqrt{c_3}} n = \frac{180(5) / \sqrt{25}}{520(74) / \sqrt{49} + 870(30) / \sqrt{25} + 180(35) / \sqrt{25}} 152 = 18$$

Es decir, en las regiones I,II, y III se deben muestrear 60, 74 y 18 elementos, respectivamente.

Estimación de la media de una población e intervalo de confianza

Los primeros pasos en la estimación de la media de una población estratificada, consisten en calcular las medias para cada estrato y luego combinarla en una media general.

La media de la población (μ) se estima dividiendo la suma de los totales de cada estrato entre el tamaño de la población (N).

$$\hat{\mu} = \frac{N_1 \bar{y}_1 + N_2 \bar{y}_2 + \dots + N_k \bar{y}_k}{N_1 + N_2 + \dots + N_k} = \frac{\sum N_e \bar{y}_e}{N}$$

donde: N_1, N_2 y N_3 son el total de unidades de interés en cada uno de los estratos y $\bar{y}_1, \bar{y}_2, \bar{y}_3$ son las medias obtenidas para cada estrato; $N = \sum N_i$ es el total de las observaciones en los estratos, es decir $N = \sum N_i$

El error estándar e intervalo de confianza se calculan como:

$$EE = \frac{1}{N^2} \sum N_e(N_e - n_e) \frac{DE_e^2}{n_e} \quad \text{y} \quad \hat{\mu} \pm t * EE$$

donde: D_i^2 es la varianza estimada para cada uno de los estratos y n_i es el tamaño de muestra del estrato "i".

Ejemplo: Suponga que al entrevistar a 50, 84 y 18 productores de las regiones I, II y III, respectivamente, se obtuvieron los promedios de ganancia de peso, y DE de: 141 ± 36 , 183 ± 28 y 211 ± 34 g. Sea $N_1 = 520$, $N_2 = 870$ y $N_3 = 180$, el número de rebaños en los estratos I, II y III. Se desea estimar el promedio de peso al destete de borregos *Pelibuey* en la población y su intervalo de confianza.

Solución: la media de la población y su EE es de acuerdo con las fórmulas:

$$\hat{Y} = \frac{\sum N_i \bar{y}_i}{N} = \frac{520(141) + 870(183) + 180(211)}{1570} = 172.3 \text{ g}$$

$$EE = \sqrt{\frac{1}{1570^2} \left[520(520 - 50) \frac{36^2}{50} + 870(870 - 84) \frac{28^2}{84} + 180(180 - 18) \frac{34^2}{18} \right]} = 243$$

El intervalo de confianza con una probabilidad del 95 % es:

$$\bar{Y} \pm t(EE) = 172.3 \pm 2(2.43) = 172.3 \pm 4.86 \text{ g}$$

Es decir, la media de la población se encuentra entre 167.4 y 177.29 g.

Estimación del total de una población e intervalo de confianza

El total producido por estrato se obtiene multiplicando el número de animales en el estrato por el promedio estimado en el estrato para la variable de interés. Mientras que el total estimado de la población \hat{Y} se obtiene sumando los totales estimados para cada uno de los estratos.

El error estándar del total se obtiene multiplicando el tamaño de la población por el error estándar de la muestra.

Ejemplo: Suponga que se desea estimar los kilogramos destetados en cada estrato del ejemplo anterior. Para ello se requiere el total de kilogramos de destetes en los estratos I, II y III. Suponga que el promedio de kg destetados en el estrato I, II y III son 141 kg, 183 kg y 211 kg, entonces los totales de kilos por estrato son:

$$Y_1 = N_1 \bar{y}_1 = 520(141) = 73320 \text{ kg} \quad Y_2 = N_2 \bar{y}_2 = 870(183) = 159210 \text{ kg} \quad \text{y}$$

$$Y_3 = N_3 \bar{y}_3 = 180(211) = 37980 \text{ kg.}$$

El error estándar es $Ee_t = N(EE) = 1570(2.43) = 3815.1 \text{ kg}$

El intervalo de confianza al 95% de confianza para los kilogramos de destete producidos en la población objetivo es : $270510 \pm 2(3815)$. Es decir, los kilogramos de destete producidos en la población se encuentran entre 262880 y 278140 kg con un 95% de confianza.

Tamaño de muestra para estimar la proporción o prevalencia en una población

Cuando el interés es estimar una proporción se utiliza la fórmula:

$$n = \frac{NZ^2 \sum N p_i q_i}{N^2 d^2 + Z^2 \sum N_i p_i q_i}$$

donde: n = Tamaño de muestra; N = Tamaño de la población ; N_i = Número de elementos en el estrato "i"; p_i = prevalencia estimada en el estrato "i"; $q_i = 1 - p_i$; d = precisión deseada y Z = valor crítico de tablas de la distribución normal estándar.

Ejemplo: Se quiere estimar la prevalencia de mastitis en un hato de doble propósito y otro de producción intensiva de leche. Sea $N_1=1500$ vacas Cebú x *Holstein* (CxH) y $N_2=700$ vacas *Holstein* (Ho). Se selecciona una muestra aleatoria de 80 vacas CxH y 60 vacas Ho y se obtiene que 14 vacas CxH y 12 Ho tienen mastitis. ¿De qué tamaño deberá ser la muestra para estimar la prevalencia (P) con una precisión del 5% y una confiabilidad del 95%?

Solución: El total de vacas es: $N = N_1 + N_2 = 1500 + 700 = 2200$; mientras que las prevalencias en los estratos son:

$$p_1 = 14/80 = 0.175; \quad q_1 = 1 - 0.175 = 0.825;$$

$$p_2 = 12/60 = 0.20; \quad q_2 = 1 - 0.20 = 0.80;$$

El tamaño de muestra sería:

$$n = \frac{2200(1.96)^2[1500(0.175)(0.825) + 700(0.20)(0.80)]}{2200^2(0.05)^2 + 1.96^2[1500(0.175)(0.825) + 700(0.20)(0.80)]} = 224$$

Para la asignación de las muestras a cada uno de los estratos se usan las mismas fórmulas que para las variables continuas.

Estimación de una proporción o prevalencia e intervalo de confianza

La prevalencia en el estrato “i” se estima dividiendo el número de casos (animal u objeto con el rasgo de interés) entre el total de unidades en la muestra.

La prevalencia en la población (P) se estima por:
$$P = \frac{\sum N_i p_i}{N}$$

donde: n = Tamaño de muestra total; n_i = Tamaño de muestra del estrato “i”; p_i = Prevalencia en el estrato “i”; y N_i = Tamaño del estrato “i”.

Los intervalos de confianza para cada uno de los estratos se estiman utilizando la fórmula para el muestreo simple al azar.

La varianza estimada de la prevalencia es:

$$V_p = \frac{1}{N^2} \left[\sum N_i (N_i - n_i) \left(\frac{p_i q_i}{n_i - 1} \right) \right]$$

El EE se obtiene de la raíz cuadrada de V_p, es decir $EE = \sqrt{V_p}$

El intervalo de confianza para la prevalencia en la población (P) se obtiene sumando y restando a la prevalencia de la muestra (p) el valor de t(EE).

$$p - t(EE) < P < p + t(EE)$$

Ejemplo: En el estudio de una población, la cual se dividió en estrato rural y conurbano con N₁=800 y N₂=500 parvadas, respectivamente, se muestrearon n₁=100 y n₂=50 parvadas, en las cuales se encontraron a₁=20 y a₂=16 animales con viruela. Calcular las prevalencias en los estratos, la prevalencia general y su intervalo de confianza.

La prevalencia en el estrato I es: $p_1 = \frac{a_1}{n_1} = \frac{20}{100} = 0.20$

La prevalencia en el estrato II es: $p_2 = \frac{a_2}{n_2} = \frac{16}{50} = 0.32$

La prevalencia en la muestra (todos los estratos) es:

$$p_i = \frac{\sum n_i p_i}{n} = \frac{100(0.20) + 50(0.32)}{150} = \frac{20 + 16}{150} = 0.24$$

La prevalencia estimada en la población es:

$$P = p_e = \frac{\sum N_e p_e}{N} = \frac{800(0.20) + 500(0.32)}{1300} = \frac{160 + 160}{1300} = 0.246$$

Nota. Si las muestras se hubieran tomado proporcionales al tamaño de cada estrato, la prevalencia en la muestra y la esperada en la población serían las mismas

La varianza estimada de la prevalencia es:

$$V_p = \frac{1}{N^2} \left[\sum N_i (N_i - n_i) \left(\frac{p_i q_i}{n_i - 1} \right) \right]$$

$$V_p = \frac{1}{1300^2} \left[800(800 - 100) \frac{0.20(0.80)}{100 - 1} + 500(500 - 50) \frac{0.32(0.68)}{50 - 1} \right] = \frac{1}{1690000} [905.05 + 999.18] = 0.001127$$

El EE se obtiene de la raíz cuadrada de V_p

$$E = \sqrt{V_p} = \sqrt{0.001127} = 0.033$$

El intervalo de confianza para el ejemplo es:

$$0.246 - 2(0.033) < P < 0.246 + 2(0.033) = 0.18 < P < 0.31$$

En conclusión, aunque no se conoce la prevalencia real en la población, se puede asegurar con una confianza del 95% que ésta se encuentra entre 0.18 y 0.31.

Muestreo por conglomerados

Cuando el tamaño de la población no es muy grande, cualquier método de muestreo puede usarse sin dificultad; sin embargo, cuando el tamaño de la población si lo es o las unidades están muy dispersas, algunos procedimientos presentan dificultades para su aplicación, tales como: 1.- La dificultad de preparar una lista de todas las unidades de muestreo. 2.- El alto costo de realizar una encuesta o medición de una serie de unidades dispersas y numerosas. 3. Las dificultades administrativas de un plan de muestreo donde las unidades de muestreo están distantes.

Por ejemplo, cuando se desea estimar los pesos al destete de todos los cerdos en traspato (o la prevalencia de una enfermedad) en el estado de Yucatán; para usar el muestreo simple al azar se necesita una lista de todos los animales destetados y para fines prácticos, esto es imposible de adquirir. Para aplicar el muestreo estratificado, el estado de Yucatán tendría que dividirse en regiones con condiciones ambientales y manejo de animales similares. Sin embargo, aquí surge nuevamente el problema de las listas por región y suponiendo que éstas existan, el número de comunidades a visitar podría hacer prohibitivo el costo de la encuesta por lo disperso de las unidades de muestreo. El manejo administrativo podría llegar a ser molesto y tardado.

La encuesta podría realizarse más fácilmente en términos de preparación, costo y administración si las unidades a ser muestreadas estuviesen constituidas por conglomerados o grupos de unidades de interés. Es decir, en el muestreo por conglomerados, la unidad de muestreo es más grande que la unidad de interés (p.e. la unidad de muestreo es la casa y la unidad de interés la camada). Los conglomerados de individuos a menudo ocurren naturalmente (p.e. familias, camadas, corrales, hatos, etc.) o pueden ser formados artificialmente (p.e. los municipios son conglomerados geográficos). El conglomerado puede ser seleccionado por los métodos sistemático, al azar simple o estratificado con la condición de que todos los individuos en la unidad de muestreo sean medidos o examinados.

Por lo tanto, debido a la limitada disponibilidad de marcos de muestreo y al alto costo de transporte, generalmente es imposible y no es práctico seleccionar una muestra simple al azar de animales de una población. La única solución en la mayoría de los estudios es tomar una muestra de conglomerados seleccionados aleatoriamente de una lista y muestrear a todos los individuos de cada conglome-

rado. Esto conduce a un incremento en el tamaño de muestra en comparación con el muestreo simple aleatorio, ya que el error estándar aumenta debido a que las unidades de interés dentro de cada conglomerado no son independientes (es decir, están correlacionadas). Una regla práctica consiste en considerar de dos a cuatro veces el tamaño de muestra para un muestreo simple al azar. Aun que lo más correcto es estimar el tamaño de muestra adecuado.

A continuación se proporcionan las fórmulas para calcular el número de conglomerados que se necesitan muestrear para estimar el promedio o total de alguna variable cuantitativa y para estimar prevalencias.

Número de conglomerados para estimar la media o el total de una población

Una fórmula para calcular el número de conglomerados (**m**) es:

$$m = \frac{Mt^2s_c^2}{Nd^2 + t^2s_c^2}$$

donde: **M**= Número de conglomerados en la población; **t**= Valor crítico de la tabla de t de *Student* con un número infinito de grados de libertad; **d**= Precisión deseada.

$$\bar{N} = \frac{\sum N_i}{M} = \text{Tamaño promedio de los conglomerados en la población.}$$

$$s_c^2 = \frac{\sum (y_i - \bar{y}n_i)^2}{(m-1)n_i} = \frac{\sum n_i(\bar{y}_i - \bar{y})^2}{m-1} = \text{Cuadrado medio (varianza) entre con-}$$

glomerados.

y_i = Total de todas las observaciones en el conglomerado **i**. Por ejemplo la producción de leche por rancho.

$$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{\sum n_i} = \text{Promedio general de la variable de interés en los conglomerados}$$

muestreados.

m^* = Número de conglomerados en la muestra piloto o utilizados para estimar s_c^2 .

n_i = Número de elementos en los conglomerados seleccionados $i=1,2,\dots,m$.

Ejemplo: ¿Cuál es el número de conglomerados necesarios para estimar el promedio de producción de leche/vaca en bovinos de doble propósito en una región, con una precisión de 0.3 litros y 95% de confianza?. Dado que se desconoce la varianza entre conglomerados se procede a realizar un estudio piloto en 25 de 420 hatos, el cual indica que la varianza entre conglomerados, estimada con la fórmula abajo proporcionada es:

$$s_c^2 = \frac{\sum (y_i - \bar{y}n_i)^2}{(m-1)n_i} = \frac{525.425}{24} = 118.363$$

Por lo tanto, el número de conglomerados necesarios para estimar el promedio de producción de leche es:

$$m = \frac{Mt^2s_c^2}{Nd^2 + t^2s_c^2} = \frac{420(1.96)^2 21.893}{2520(0.3)^2 + 1.96^2(21.893)} = \frac{35309.03}{310.869} = 113.58$$

donde: $M=420$ = total de conglomerados en la población; $t=1.96$; $d=0.3$ litros; $m=25$

El promedio de animales por conglomerado en la población (\bar{N}) se estimó por el promedio de animales en los conglomerados muestreados.

El total estimado de elementos en la población es: $M\bar{N} = M\bar{n} = 420(6) = 2520$.

Es decir se deben muestrear 129 hatos y todos los animales de cada hato para obtener una precisión de 0.3 litros y 95% de confianza en el estimador.

Estimación de la media de una población e intervalo de confianza.

La media de la población (\bar{Y}) en un muestreo por conglomerados se estima dividiendo la suma de los totales de cada conglomerado entre el total de unidades de interés medidas:

Las fórmulas para calcular el error estándar e intervalo de confianza para un muestreo por conglomerados son:

$$EE = \sqrt{\left(\frac{M-m}{Nm}\right) s_c^2} = \sqrt{\left(\frac{420-25}{2520(25)}\right) 21.893} = 0.37$$

$$\bar{y} - t * EE \leq \mu \leq \bar{y} + t * EE$$

Ejemplo: Suponga que para estimar la media e intervalo de confianza de la media de la producción de leche por vaca, se tiene la siguiente información:

$$\sum_{i=1}^m y_i = 48.0 + 60.5 + 22.0 + \dots + 20 = 654.0 = \text{Total de litros producidos.}$$

$$\sum_{i=1}^m n_i = 7 + 12 + 4 + \dots + 8 = 150 = \text{El número de vacas medidas.}$$

$$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{\sum n_i} = \frac{654}{150} = 4.36 \text{ litros} = \text{Promedio de litros/vaca.}$$

Por lo tanto, el EE_c para la producción de leche/vaca es:

$$EE = \sqrt{\left(\frac{M-m}{Nm}\right) s_c^2} = \sqrt{\left(\frac{420-25}{2520(25)}\right) 21.893} = 0.37 = 0.35 \text{ litros}$$

El intervalo de confianza al 95% es:

$$4.36 - 1.96(0.35) \leq \mu \leq 4.36 + 1.96(0.35) = 3.67 \leq \mu \leq 4.71$$

Es decir no se conoce con exactitud el promedio de producción de leche por vaca en la población pero se puede asegurar con un 95% de confianza que el parámetro se encuentra entre 3.67 y 4.70 litros.

Estimación del total de una población e intervalo de confianza

El total de una población se puede estimar a través de la siguiente fórmula:

$$\underline{N\bar{y} = N \frac{\sum y_i}{\sum n_i}}$$

donde: \hat{Y} = Total de la población; N= Número de elementos en la población o estimado por $\underline{M\bar{n}}$

El error estándar del total y su intervalo de confianza se estiman como:

$$\underline{EE_t = N \sqrt{\left(\frac{M-m}{Nm}\right) s_c^2}} \quad \underline{y - t * EE_t \leq Y \leq y + t * EE_t}$$

Ejemplo: Estimar el total de leche producida por los 420 ranchos que constituyen la población de la cual se tomó la muestra de 25 ranchos del ejemplo anterior.

El total de leche producida en la población para el ejemplo es el resultado de multiplicar el promedio estimado de litros de leche/vaca por el número total de vacas en la población; es decir:

$$\underline{N\bar{y} = 2520 * 4.36 = 10,987.2 \text{ litros}}$$

donde $N=M\bar{n}=420(6)=2520$.

Para el ejemplo, el EE_t y su intervalo de confianza al 95% son:

$$\underline{EE_t = 2520 \sqrt{\left(\frac{420-25}{2520(25)}\right) 21.893} = 2520 * 0.37 = 932.4 = 882 \text{ litros y}}$$

$$\underline{10,987 - 1.96 * 932.4 \leq Y \leq 10,987 + 1.96 * 932.4 = 9122.2 \leq Y \leq 12,851 \text{ litros}}$$

Es decir, la producción total de leche estimada en la región es de 10,987 litros con un intervalo de 9,258 a 11,869 litros.

Cálculo del número de conglomerados para estimar una proporción o prevalencia en una población

Para el cálculo del número de conglomerados a muestrear (**m**) para estimar la prevalencia en una población se utiliza la misma fórmula que para estimar un promedio:

$$m = \frac{Mt^2 s_c^2}{Nd^2 + t^2 s_c^2}$$

Excepto que se obtiene de la siguiente forma:

$$s_c^2 = \frac{\sum (a_i - \hat{p}n_i)^2}{(m-1)n_i} = \frac{\sum n_i (p_i - \hat{p})^2}{m-1}$$

donde: n_i = Número de elementos en los conglomerados seleccionados $i = 1, 2, \dots, m$ y a_i = total de casos en el conglomerado **i**. Por ejemplo, el total de animales enfermos en un rancho. p_i = prevalencia en el conglomerado “i”.

$$\hat{p} = \frac{\sum a_i}{\sum n_i} = \text{Prevalencia general en los conglomerados seleccionados.}$$

m^* = Número de conglomerados en la muestra piloto o utilizados para estimar s_c^2 .

Comúnmente la varianza entre conglomerados se desconoce, por lo que se estima de estudios previos o se calcula de un estudio piloto.

Ejemplo: Se desea calcular el tamaño de muestra para estimar la prevalencia de viruela en 800 traspatios de una comunidad, considerando una precisión del 5% y 95% de confianza. Un estudio piloto de 30 camadas proporciona una varianza entre conglomerados s_c^2 de:

$$s_c^2 = \frac{\sum (a_i - pn_i)^2}{(m-1)n_i} = \frac{92348}{30-1} = 0.3184$$

Dado que \bar{N} no se conoce, se estimó a través de \bar{n} $M = 800$; $t = 1.96$;

$$d = 0.05 = 5\%; m = 30 \text{ y } \hat{p} = \frac{\sum a_i}{\sum n_i} = 0.29$$

$$\bar{n} = \frac{\sum n_i}{m} = \frac{217}{30} = 7.23$$

De aquí que, el número de conglomerados para estimar la prevalencia es:

$$m = \frac{Mt^2s_c^2}{Nd^2 + t^2s_c^2} = \frac{800(1.96)^2(0.3184)}{5784(0.05)^2 + 1.96^2(0.3184)} = \frac{978.1248}{15.6826} = 62.4$$

Es decir se deben muestrear 56 camadas, de las 800 camadas, para estimar la prevalencia con un 95% de confianza y una precisión del 5%.

Estimación de una proporción o prevalencia e intervalo de confianza

La prevalencia en la población se estima dividiendo el número de casos o resultados favorables entre el total de unidades medidas:

El error estándar e intervalo de confianza para una proporción se estiman a través de las siguientes fórmulas:

$$EE_p = \sqrt{\left(\frac{M-m}{M}\right)\left(\frac{1}{m\bar{N}^2}\right) \frac{\sum_{i=1}^m (a_i - \hat{p}n_i)^2}{m-1}}$$

$$\hat{p} - tEE_p \leq P \leq \hat{p} + tEE_p$$

Ejemplo: Suponga que se obtiene la siguiente información de un estudio en el que se desea conocer el porcentaje de familias que tienen cerdos en traspatio:

$$\sum a_i = 63 = \text{Número de familias que tienen cerdos}$$

$\sum n_i = 217 =$ Número total de familias encuestadas

La proporción estimada para el ejemplo es: $\hat{p} = \frac{\sum a_i}{\sum n_i} = \frac{63}{217} = 0.29$ y su

error estándar e intervalo de confianza son:

$$EE_p = \sqrt{\left(\frac{800-30}{5784(30)}\right)0.3184} = 0.0376 \quad \text{y}$$

$$0.29 - 1.96(0.0354) < P < 0.29 + 1.96(0.0354) = 0.22 < P < 0.36$$

Es decir, en la comunidad estudiada la proporción de familias que tienen cerdos se encuentra entre 22 y 36% con un 95% de confianza y precisión absoluta del 5%.

Muestreo por multietapas

Un conglomerado en ocasiones contiene muchos elementos para obtener una medida de cada uno, o contiene elementos muy parecidos que con medir algunos se obtiene información de todo el conglomerado. Cuando cualquiera de estas situaciones ocurre puede obtenerse una muestra probabilística de elementos de cada conglomerado, lo que resulta en un muestreo en dos o más etapas (multi-etapas).

Como se mencionó anteriormente, dentro de cada conglomerado, las unidades son más similares que entre conglomerados ya que existe correlación entre ellos. Por ejemplo, si una gallina en una casa tiene viruela es más probable que otros animales en la misma tengan la enfermedad que los de otras casas. Por lo tanto, esto conduce a que la muestra tenga una varianza más pequeña que la población total. Esta reducción en la varianza tiene el efecto de disminuir la confianza en el resultado y por lo tanto, el tamaño de muestra debe ser mayor. Una regla práctica es incrementar el tamaño de muestra de dos a cuatro veces más que el tamaño obtenido para el muestreo simple al azar.

Los pasos a seguir para obtener estimadores de la población en el muestreo multi-etapas son: 1.- Se selecciona una muestra al azar de **m** conglomerados del

total de conglomerados (**M**). 2.- Luego de cada uno de los **m** conglomerados elegidos se seleccionan al azar n_i unidades de interés del total N_i de cada conglomerado. 3.- Se estiman los parámetros deseados para cada conglomerado elegido. 4.- Se obtienen los parámetros para la población total.

Ejemplo: suponga que una región se divide en **M** municipios (unidades primarias de muestreo), de los cuales se obtiene una muestra de **m** municipios. Cada municipio consiste a su vez de **N** subunidades (predios) de las cuales se obtiene una muestra de tamaño **n** para cada uno de los municipios. Entonces hay **MN** unidades en la población y **mn** en la muestra. El plan en este caso es un muestreo en dos etapas. Cuando las unidades de muestreo se seleccionan de esta manera, se necesita solamente una lista de los **M** municipios y una lista de los predios en los **m** municipios seleccionados. Por lo tanto, puesto que los predios seleccionados son conglomerados en municipios es más fácil visitarlos que si fueran predios en toda la región. Otro ejemplo, sería el caso cuando se quiere hacer un estudio para estimar la población de gallinas en una comunidad: Lo ideal es hacer un muestreo a nivel de casas; pero suponga que no existen datos confiables a ese nivel; sólo existe una lista de comisarías. Se pueden seleccionar entonces varias comisarías y dentro de cada una se pueden seleccionar las casas.

En estudios de muestreo multi-etapas comúnmente primero se calcula el número de unidades de interés a muestrear dentro de cada conglomerado (**b**) y el tamaño de muestra (**n**) y luego se obtienen el número de conglomerados a muestrear (**m**).

Número de unidades de interés a medir por conglomerado

No hay duda de que es mejor muestrear el número máximo posible de conglomerados y que éstos deben seleccionarse al azar. Sin embargo, si la limitante es por recursos económicos existen fórmulas para calcular el número de unidades de interés a medir en cada conglomerado. Para esto, se necesita conocer los costos: de llegar a cada conglomerado, de medir cada unidad de interés, el costo de cada prueba (en estudios epidemiológicos) y conocer la varianza entre y dentro de conglomerados.

Para obtener el número de unidades de interés (**b**) a muestrear dentro de cada conglomerado se puede utilizar la fórmula proporcionada por *Snedecor* y *Cochran* (1978):

$$b = \sqrt{\left(\frac{C_e}{C_d}\right)\left(\frac{1-r_e}{r_e}\right)}$$

donde: \mathbf{b} = Número promedio de unidades de interés en cada conglomerado; C_e = Costo de tomar una muestra en dos conglomerados; C_d = Costo de muestrear dos unidades de interés en un mismo conglomerado; r_e = Correlación entre unidades dentro de los conglomerados.

Esta fórmula permite balancear el efecto de la variación dentro de conglomerados y el costo relativo de muestrear unidades y llegar al conglomerado. Mientras más relacionadas estén las unidades, más pequeño es \mathbf{b} , y un mayor número de conglomerados serán necesarios. Si lo más costoso es llegar al conglomerado en comparación con el costo de muestrear cada unidad de interés, entonces \mathbf{b} es más grande y el número de conglomerados será menor. Basado en estudios previos C_e es de 5 a 10 veces mayor que C_d . Los valores de r_e varían de acuerdo con el carácter a estudiar y podrían obtenerse de la literatura o calcularse de un estudio piloto.

Ejemplo: suponga que la correlación intraconglomerados para el peso al destete en lechones o para alguna enfermedad es $r_e = 0.40$ y el costo de muestrear dos animales en dos granjas es 10 veces más caro que muestrear dos animales en una misma granja. Entonces el número promedio de animales a muestrear en cada granja es:

$$\mathbf{b} = \sqrt{\frac{10(1 - 0.4)}{0.4}} = \sqrt{15} = 3.87 \approx 4$$

El número de animales por conglomerado debe tomarse, de preferencia, proporcional al tamaño del conglomerado. Esta práctica tiene muchas ventajas operacionales y satisface una de las suposiciones básicas del muestreo aleatorio, el cual establece que todas las unidades de interés tengan la misma probabilidad de ser seleccionados.

Para obtener la correlación intraconglomerados (r_e) se usa la fórmula abajo proporcionada, que utiliza las componentes de varianza obtenidas de un análisis de varianza como el proporcionado en el Cuadro 1

$$r_e = \frac{\hat{\sigma}_c^2}{\hat{\sigma}_c^2 + \hat{\sigma}_d^2}$$

donde: $\hat{\sigma}_d^2$ = CMW = Cuadrado medio del error; CMB = Cuadrado medio entre

conglomerados; $\hat{\sigma}_c^2 = \frac{CMB - CMW}{k}$ y $k = \left(\frac{1}{m-1}\right)\left(n - \frac{\sum n_i^2}{n}\right)$ promedio

ponderado del número de elementos muestreados por conglomerado

Cuadro 1

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	Esperanza de Cuadrados Medios
Conglomerados	19	4.2516	0.2238=CMB	$\hat{\sigma}_a^2 + k\hat{\sigma}_c^2$
Error	300	55.7484	0.1858=CMW	$\hat{\sigma}_a^2$

Análisis de varianza para los datos de mastitis en ganado de doble propósito.

$$k = \frac{1}{19} \left(320 - \frac{6134}{320} \right) = 15.8 \quad \hat{\sigma}_c^2 = \frac{0.2238 - 0.1858}{15.8} = 0.0024$$

$$r_e = \frac{0.0024}{0.0024 + 0.1858} = 0.013$$

Tamaño de muestra y número de conglomerados para estimar una media o total en una población

La precisión deseada en el estudio es un criterio importante para decidir el tamaño de muestra apropiado. Sin embargo, para un número dado de unidades de interés en la muestra, la precisión de una muestra de conglomerados es usualmente inferior a la obtenida de una muestra al azar simple, debido a la correlación entre individuos de un mismo conglomerado. Como ya se dijo anteriormente, 10 animales de un mismo hato proporcionan menos información que 10 animales de 10 diferentes hatos. Por lo tanto, la reducción en la precisión debe considerarse en el cálculo del tamaño de muestra para un muestreo por conglomerados o multi-etapa. El efecto de diseño (**D**) mide el sesgo introducido en el diseño de muestreo al seleccionar sujetos cuyos resultados no son independientes. Esto resulta en una estimada menor de la varianza porque los sujetos son más similares con respecto al factor estimado que si fueran seleccionados al azar. El efecto de diseño es 1 (es decir no hay efecto) cuando se utiliza el muestreo simple al azar o muestreo sistemático *insesgado*.

El valor de **D** varía de acuerdo con la variable estudiada. Por ejemplo, normalmente en muestreos por conglomerados de nutrición o de cobertura de inmunización, **D** se toma como 2, pero podría ser mayor en encuestas donde la variable a medir tenga coeficientes de variación elevados o en encuestas de prevalencias

de enfermedades contagiosas como las diarreas. Una medida del aumento del EE de la estimada debido a procedimiento de muestreo usado, está dada por D el cual se estima como:

$$D = \frac{EE_c^2}{EE^2} \quad \text{o bien como: } D = 1 + (b-1)r_c$$

donde: EE_c = Error estándar para un muestreo multi-etapas; EE = Error estándar para un muestreo simple aleatorio; b = Número promedio de animales muestreados por conglomerado y r_c = Correlación intraconglomerados.

Ejemplo: Suponga que $r_c = 0.69$ y que se muestrearon 6 animales/rancho, entonces, el efecto de diseño es: $D = 1 + (6-1)0.69 = 1 + 3.45 = 4.45$

Es decir, el tamaño de muestra para un muestreo multi-etapas debe ser 4.45 veces mayor que el tamaño de muestra para un muestreo simple al azar.

Cálculo del tamaño de muestra

Una vez conocido D, el tamaño de muestra se obtiene multiplicando este valor por el tamaño de muestra para el muestreo simple al azar (n_{msa})

$$n_{msa} = \frac{4.45(1.96)^2 4.8024}{0.3^2} = 912$$

donde: DE^2 = Varianza esperada en la muestra; d = Precisión deseada; Z = Valor crítico de la distribución del estadístico Z

Ejemplo: Suponiendo una varianza para producción de leche/vaca de 4.8024 l², una precisión $d = 0.3$ l y efecto de diseño $D = 4.45$; el tamaño de muestra para un muestreo aleatorio simple, n_{msa} , sería:

$$n = D * n_{msa} = \frac{D * Z^2 * DE^2}{d^2} \text{ vacas}$$

Dado que se muestrearon en promedio seis vacas por rancho, el número de conglomerados, m , es:

$$m = \frac{n}{b} = \frac{912}{6} = 152 \text{ ranchos}$$

Desafortunadamente, el efecto de diseño se desconoce antes de realizar el muestreo porque r_c en la población se desconoce. Sin embargo, pueden utilizarse los resultados de r_c publicados en la literatura, los cuales varían de 0 a 1. Normalmente los rasgos asociados con caracteres reproductivos presentan valores de r_c más bajos que los rasgos de crecimiento y por lo tanto requieren de mayores tamaños de muestra.

Estimación de una media o total en una población

La media calculada de una muestra, es un estimador insesgado de la media de la población por lo tanto se puede estimar como:

$$\bar{y} = \frac{\sum N_i \bar{y}_i}{\sum N_i}$$

donde: \bar{y}_i = Media aritmética para el conglomerado i y N_i = Número de elementos en el conglomerado i .

El error estándar se obtiene de la siguiente fórmula:

$$EE_c = \sqrt{\left(\frac{M-m}{M}\right)\left(\frac{1}{mN}\right)s_c^2 + \left(\frac{1}{mMN}\right)\sum\left(\frac{N_i - n_i}{n_i}\right)s_{di}^2}$$

donde: M = Número de conglomerados en la población; m = Número de conglomerados seleccionados en un muestreo simple al azar y $N = M \bar{n}$ = Total real o estimado de elementos en la población.

$$s_c^2 = \frac{\sum N_i (\bar{y}_i - \bar{y})^2}{m-1} \quad s_d^2 = \frac{\sum (y_{ij} - \bar{y}_i)^2}{(n_i - 1)} \quad i=1,2,\dots,m$$

Un estimador insesgado del total de la población esta dado por: y su error

estándar por:
$$Y = M \frac{\sum N_i \bar{y}_i}{m}$$

El intervalo de confianza al 95% es: $\bar{y} - t * EE \leq \mu \leq \bar{y} + t * EE$

La media \bar{y} , total Y y errores estándares EE_c para el ejemplo se obtienen como:

$$\bar{y} = \frac{\sum N_i \bar{y}_i}{\sum N_i} = \frac{70(48) + 120(60.5) + \dots + 80(20)}{1500} = \frac{6540}{1500} = 4.36$$

$$Y = M \frac{\sum N_i \bar{y}_i}{m} = 420 \frac{6540}{25} = 109872 \text{ litros}$$

$$EE_c = \sqrt{\left(\frac{420 - 25}{420}\right) \left(\frac{1}{25(60)}\right) 218.93 + \left(\frac{1}{25(420)60}\right) 416.576} = 0.37$$

El EE del total se podría estimar del EE del promedio de litros/vaca como:

$$EE_t = M \bar{N} EE = 420(60)0.37 = 9324 \text{ litros.}$$

Tamaño de muestra y número de conglomerados para estimar una proporción o prevalencia

Como se mencionó anteriormente, cuando se conoce D , el tamaño de muestra es el resultado de multiplicar su valor por el tamaño de muestra para el muestreo simple al azar (n_{msa})

$$n = D * n_{msa} = D \frac{Z^2 * DE^2}{d^2}$$

donde: p es la prevalencia; $q = 1-p$; d es la precisión deseada y Z el valor crítico de la distribución del estadístico Z .

Ejemplo: Se desea determinar el número de conglomerados y tamaño de muestra a utilizar en un muestreo al azar en dos etapas.

El tamaño de muestra para un muestreo simple al azar en una población infinita con una prevalencia estimada en 0.30, un nivel de confianza del 95%, una precisión del 5% y tamaño de población de 4000, es:

$$n_{\infty} = \frac{Z^2 pq}{d^2} = \frac{1.96^2(0.3)(0.7)}{0.05^2} = \frac{0.8064}{0.0025} = 322.56 = 323$$

Tamaño de muestra para una población de 4000 elementos:

$$n = \frac{n_{\infty}}{1 + \frac{n_{\infty}}{N}} = \frac{323}{1 + \frac{323}{4000}} = \frac{323}{1.08075} = 299$$

Entonces si se supone un $r_c=0.05$ y el costo de muestrear dos animales en dos ranchos es 10 veces mayor que muestrear dos animales en un mismo rancho; el promedio de animales a medir en cada rancho es:

$$b = \sqrt{\frac{10(1 - 0.05)}{0.05}} = 14$$

y el efecto de diseño es: $D= 1 + (b-1) r_c = 1+ (14-1)0.05= 1.65$

Por lo tanto, el tamaño de muestra para el muestreo en dos etapas es: $1.65(321) = 530$ animales y el número de conglomerados necesarios: $m = n/b = 530/14 = 37.9 = 38$

Es decir se deben muestrear 530 animales en 38 ranchos.

Estimación de una proporción o prevalencia e intervalo de confianza

La prevalencia en la población es diferente si los elementos a muestrear en cada conglomerado se toman en forma proporcional al tamaño del conglomerado o si se toma el mismo número de animales en cada conglomerado.

Cuando el cálculo de la prevalencia en un muestreo de dos etapas con unidades tomadas proporcional al tamaño del conglomerado la prevalencia se estima por:

$$\hat{p} = \frac{\sum N_i p_i}{\sum N_i} \text{ y su EE se obtiene como:}$$

$$EE_p = \sqrt{\left(\frac{M-m}{M}\right)\left(\frac{1}{m\bar{N}}\right)s_c^2 + \left(\frac{1}{mM\bar{N}}\right)\sum\left(\frac{N_i - n_i}{n_i - 1}\right)p_i q_i}$$

donde: m = Número de conglomerados muestreados; M= Número de conglomerados en la población; \bar{N} = Tamaño promedio de los conglomerados en la población

$$s_c^2 = \frac{\sum N_i (p_i - \hat{p})^2}{m - 1}$$

N_i = Total de unidades de muestreo en el conglomerado "i"

n_i = Unidades de muestreo medidas en los conglomerados seleccionados.

$$p_i = \frac{a_i}{n_i} \quad q_i = 1 - p_i$$

La fórmula para calcular el intervalo de confianza es: $\hat{p} \pm tEE_p$

Ejemplo: Suponga que se tienen M=200 hatos de los cuales se seleccionan 20. De cada uno de estos 20 hatos se seleccionan al azar el 10% de los animales. Calcular la prevalencia e intervalo de confianza.

La prevalencia estimada para la población es:

$$\hat{p} = \frac{\sum N_i p_i}{\sum N_i} = \frac{200(0.300) + 300(0.067) + \dots + 130(0.385)}{3200} = 0.25 \text{ y su error estándar:}$$

$$EE_p = \sqrt{\left(\frac{200-20}{200}\right)\left(\frac{1}{20 \cdot 160}\right)2.162 + \left(\frac{1}{20 \cdot 200 \cdot 160}\right)35.8} = \sqrt{0.000664} = 0.0269$$

Entonces, el intervalo de confianza para la prevalencia al 95% es:

$$IC = \hat{p} \pm tEE_p = 0.25 + 1.96(0.0269) = 0.25 + 0.0527$$

Es decir la prevalencia en la población se encuentra aproximadamente entre 0.20 y 0.30, con un 95% de confianza.

Cuando la información se obtiene de un mismo número de unidades de interés en cada conglomerado, independiente del tamaño del conglomerado, la prevalencia general se estima como:

$$\hat{p} = \frac{\sum N_i p_i}{N_i} = \frac{200(0.375) + 300(0.125) + \dots + 130(0.3125)}{3200} = \frac{864}{3200}$$

donde: N_i es el número de unidades de interés en cada conglomerado y p_i es la prevalencia estimada en cada conglomerado.

La fórmula para calcular EE_p es la misma que para el caso anterior, sólo que al cambiar el valor \hat{p} de cambiará el valor de EE_p .

Referencias

- Acosta L. E., Flores J. S. y Gómez-Pompa, A. 1993. Uso y manejo de plantas forrajeras para cría de animales de solar en Xocén, Yucatán, México. *Biótica, nueva época*, 1:63-68.
- Anderson S., Santos J., Boden R. y Wadsworth J. 1990. Characterization of cattle production systems in the state of Yucatán. Proceedings of the Dual Purpose Cattle Production Research. Universidad Autónoma de Yucatan-International Foundation for Science. Yucatán, México. Pp. 150-161.
- Berdugo R. J. G. 1987. Estudio de la ganadería familiar en el municipio de Sucilá, Yucatán. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados, Montecillos, México.
- De la Torre C. y Torres B. 1978. Huertos en Coatlán del Río Morelos. In: Gliessman S. R. (Ed.). Seminarios Regionales sobre Agroecosistemas. Colegio Superior de Agricultura Tropical, Tabasco. pp. 53-59.
- Espinoza S. I., Magaña M. M. y Berdugo R. J. 1990. Estudio descriptivo de la ganadería bovina de traspatio en la comunidad de Oxkutzcab, Yucatán, México. Memoria de la Reunión de Investigación Pecuaria/Tabasco 90. Villahermosa, Tabasco, 12-16 de noviembre de 1990. p. 512-514.
- Grande C. J. D. 1982. Estudio descriptivo de la producción avícola en el ejido Vicente Guerrero, Teapa, Tabasco. Tesis profesional. Colegio Superior de Agricultura Tropical. H. Cárdenas, Tabasco.
- Herrera-Castro N., Gómez-Pompa A., Cruz-Kuri L. y Flores J. S. 1993. Los huertos familiares mayas en X-uilub, Yucatán, México. Aspectos generales y estudio comparativo entre la flora de los huertos familiares y la selva. *Biótica, nueva época*, 1:19-36.

- Kú-Vera J. C. 1995. Ganadería de traspatio: una alternativa para combatir la desnutrición rural. *Cuadernos de Nutrición*, 18(1): 7-18
- Lozano R. L. 1982. Análisis de la explotación avícola a nivel tradicional en el poblado C-28 del Plan Chontalpa, Tabasco. Tesis Profesional. Colegio Superior de Agricultura Tropical. H. Cárdenas, Tabasco.
- Osorio A. M. M. 1972. Estudio preliminar para el Mejoramiento Genético del Ganado en el Estado de Tabasco. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio Superior de Agricultura Tropical. H. Cárdenas, Tabasco.
- Ortega L. M., Avendaño S., Gómez-Pompa A. y Ucan-Ek, E. 1993. Los solares de Chunchucmil, Yucatán, México. *Biótica, nueva época*, 1:37-51.
- Rejón A. M., Honhold N., Dajer A. A. y Lara L. J. 1991. Diagnóstico comparativo de los aspectos socioeconómicos, de manejo y salud animal de la ganadería de traspatio en dos localidades del estado de Yucatán: San Pedro Chimay y Tekik de Regil de los municipios de Mérida y Timucuy. Informe de Investigación. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán.
- Segura C. J. C. 1980. Diagnóstico de la ganadería bovina en el estado de Yucatán. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio Superior de Agricultura Tropical. H. Cárdenas, Tabasco.
- Smith A. J. 1990. The integration of rural poultry production into de family food supply system. In: Godoy R., Segura J. C. y Arellano A. (Eds.). Memoria de la II Reunión sobre Producción Animal Tropical. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México. pp. 101-113.
- Snedecor G. W. y Cochran W.G. 1978. *Métodos Estadísticos*. CECSA. México.
- Stuart J. W. 1993. Contribution of dooryard gardens to contemporary Yucatecan maya subsistence. *Biótica, nueva época*, 1:53-61.

14

DIAGNÓSTICO RURAL PARTICIPATIVO

Jorge Santos Flores y G. Molina C

Bases conceptuales

La Metodología de Investigación Participativa (MIP) como un enfoque para la investigación rural, tiene sus inicios en los años 70 con el Diagnóstico Rápido Rural (DRR). Surge como una respuesta a las limitaciones que tienen los procesos de investigación y extensión tradicionales para el sector agropecuario rural, que han trabajado con la idea de que existen soluciones prefabricadas para el desarrollo y que pueden ser impuestas por profesionales externos. Estos enfoques tradicionales han tenido muy poco impacto en la forma de vida de la población rural, pues han considerado que las tecnologías implementadas son suficientes por si solas para lograr eficiencia en la producción de alimentos, ignorando otros aspectos del sistema como la complejidad de los sustentos rurales, variabilidad constante y sobre todo la capacidad de la gente para la adaptación tecnológica.

La MIP evoluciona a partir de varios enfoques, los principales son: Investigación Participativa Activista, Análisis de Agroecosistemas, Antropología Aplicada, la Investigación de Sistemas de Producción (ISP) y el Diagnóstico Rural Rápido (Pretty *et al*, 1995). Estos enfoques han contribuido con su filosofía a encontrar el camino para guiar la investigación agropecuaria hasta métodos para lograr la interacción con los habitantes rurales y los grupos que se dedican a la investigación y desarrollo. Es importante recalcar que la Investigación Participativa es una evolución directa y modificada del DRR. De este enfoque ha tomado sus principales métodos para la investigación. En la actualidad incluye etapas de diagnóstico, diseño de experimentos, implementación y monitoreo, evaluación de los resultados y difusión de los mismos. Su uso se ha extendido y ha ganado reconocimiento en varios centros de investigación, instituciones de desarrollo y ONG's a través del mundo.

El enfoque participativo considera que tanto la producción de conocimientos como la generación de soluciones potenciales, deben ser compartidos con aquellas personas cuyas estrategias de vida forman el sujeto de la investigación. Propone invertir los enfoques que tradicionalmente son de arriba-abajo, hacia uno más centrado en la diversidad local y de métodos que estén bajo planes dirigidos hacia un proceso de aprendizaje. Así mismo, reconoce a la participación de la comunidad como un medio para incrementar la eficiencia productiva, siendo la idea central que si la gente se involucra es muy probable que apoyen una innovación o servicio, y ve a la participación comunitaria como un derecho para realizar acciones colectivas, promoción de auto-fortalecimiento, para la organización de instituciones locales, etc. Es imperativo para este enfoque lograr que los habitantes rurales sean autogestivos, protagonistas en la solución de sus problemas y menos dependientes de decisiones, servicios y recursos externos a la comunidad.

El propósito de este capítulo es mostrar las técnicas más utilizadas en la etapa inicial de la Investigación Participativa, llamada Diagnóstico Participativo.

El diagnóstico participativo

El Diagnóstico Participativo (DP) es la fase inicial de la MIP y puede ser definido como una actividad semiestructurada, realizada en el campo por un equipo interdisciplinario y diseñada para obtener información oportuna e hipótesis sobre sustentos de la comunidad (Anderson y McCracken, 1994). Es un proceso de investigación colectiva en la cual la comunidad y el equipo de investigadores generan conocimientos y establecen propuestas preliminares para actividades de desarrollo.

A diferencia de los diagnósticos tradicionales que segmentan la realidad campesina en aspectos económicos, sociales, ambientales, etc., y realizan solamente una descripción de la comunidad, el DP busca conocerla como un sistema, entender como funciona desde el punto de vista del campesino y la lógica con la que maneja y aprovecha los recursos naturales disponibles. De esta forma se podrá llegar a la identificación de problemas y posibles soluciones para fortalecer su sistema de producción. Este proceso se logra mediante diálogo directo con la gente de la comunidad.

Para llegar a la comprensión sistémica de la comunidad es necesario abarcar los siguientes aspectos durante el proceso del DP:

- El ecosistema: los recursos naturales disponibles, su ubicación en el espacio, tendencias de cambio, erosión, calidad del agua, etc.

- Los sistemas de producción: los diferentes usos de la tierra y agua, sistemas de cultivo y crianza, tendencias de degeneración de los recursos, etc.
- Las relaciones sociales: la organización social, la toma de decisiones, la diferenciación socio-económica y por género.
- El contexto institucional: la vigencia y funcionamiento de las organizaciones locales e instituciones externas.

Características principales

EL DP (como todo el proceso de Investigación Participativa) tiene ciertas características que la distinguen de otras metodologías, las más importantes son:

- La metodología. La metodología se basa en el uso semi-estructurado y sistemático de un conjunto de técnicas que hacen posible la recolección de información, facilitando a la comunidad su propia generación, análisis e interpretación de resultados.
- Participación de la comunidad. Se dá énfasis a la participación comunitaria en el proceso de aprendizaje y en el complemento entre el conocimiento y perspectivas locales y la de los investigadores. Consultando personas de la localidad en el trabajo de DP y usando las técnicas participativas, se logra que las prioridades comunitarias sean expresadas, tomadas en cuenta y analizadas junto con las prioridades de los investigadores.
- Complementariedad-flexibilidad con otros enfoques. El DP es uno de los varios enfoques que existen para la investigación y desarrollo rural. Es complemento a otros enfoques; no fué diseñado para sustituirlos. El empleo de DP está basado en un marco de ciertas técnicas pero con una flexibilidad que permita el uso de cualquier otra en combinaciones diferentes, si es que la situación (investigación) lo requiere. Esto es, a pesar de la naturaleza informal y participativa de las técnicas empleadas durante DP, pueden ser utilizados procedimientos mas formales como los análisis estadísticos, estudios antropológicos, análisis de costos-beneficios, simulación, etc., como apoyo a la situación que se este confrontando.
- Investigación de Información cualitativa. A diferencia de la metodología científica que legitima únicamente las técnicas cuantitativas, el DP permite una investigación con base en información cualitativa; recoge el conocimiento local, cuyo análisis servirá para identificar los problemas y los potenciales a partir de la percepción de los campesinos; por esta razón los resultados son únicos y no se pueden replicar en otros lugares. Los métodos cualitativos se

parecen en su procedimiento, pero los contenidos y las acciones por emprender son únicas a esa comunidad; pueden servir de ejemplo y de incentivo para emprender acciones semejantes pero no podrán ser repetidos en otro lugar con el mismo resultado. Tal y como se mencionó anteriormente, la complementariedad con otras técnicas puede darse si así se requiere. Analizando la información obtenida y los resultados provisionales en el DP, puede necesitarse un conocimiento más cuantitativo y otra metodología puede verificar ésta y obtener otros datos. Existen ocasiones en que el DP puede complementar y ser hecho al lado de sistemas formales y cuantitativos de revisión y evaluación.

- Triangulación de información. Esta es la forma en la cual se valida la información obtenida. Las técnicas participativas se emplean de una forma combinada comparando los resultados de una técnica con los resultados de otra. A través del fortalecimiento y la optimización de las fuentes de información, el equipo facilitador y las técnicas participativas, se hace más concreta la recopilación de información.
- Actores en el DP. Campesinos, técnicos facilitadores (equipo interdisciplinario) y otros relacionados. En este enfoque de investigación, el campesino y el técnico adquieren un rol especial; aquí, el campesino es el protagonista, mientras que el investigador es un facilitador del diálogo; posibilita la comunicación entre los pobladores y es un vínculo entre el campo y el mundo exterior. También pueden intervenir otros actores, como Instituciones de gobierno, ONG's u otras instituciones que de alguna forma ayudan al trabajo en la comunidad.

La calidad del proceso de DP depende de las interacciones entre el equipo de investigadores y la gente de la comunidad, es por eso que los facilitadores, como catalizadores de las actividades, deben conocer perfectamente la metodología y las técnicas participativas y desarrollarse como una persona con capacidades para promover la concientización, organización, asesoramiento y fortalecedor del proceso; así mismo tener actitudes de paciencia, respeto y humildad frente a la gente de la comunidad.

El equipo facilitador debe estar conformado por:

- personas de diferentes disciplinas, para poder comprender la diversidad del sistema comunal;
- que haya gente de ambos sexos, pues en algún momento será necesario trabajar en la comunidad por separado mujeres de hombres. También en ocasiones las mujeres campesinas no sienten confianza o sus esposos no les permiten hablar con hombres;

- debe haber alguna persona que hable el idioma de la localidad para servir de traductor y se facilite la interpretación de ideas. Hay ocasiones que la gente solo habla su idioma local.
- Crea mayores expectativas que un diagnóstico tradicional; el seguimiento es necesario. Durante el proceso del DP se generan preguntas, hipótesis y propuestas que son estímulos para trabajo posterior con la comunidad.

Etapas y actividades del DP

En el Diagrama 1 se presentan las etapas y actividades correspondientes para el DP. Hay una etapa inicial o de preparación que involucra principalmente al equipo de facilitadores; una vez hecho esto, se reúne para elaborar el plan de trabajo. Entre los puntos más importantes a tratar están: establecer los objetivos, seleccionar la comunidad, revisar la información secundaria existente. Es de utilidad relacionarse con instituciones u organizaciones que hayan o estén trabajando en la comunidad, ya que son fuente de información que puede facilitar la entrada a la población y el contacto con la gente.

Otros puntos importantes son seleccionar las técnicas participativas a utilizar, delegar responsabilidades entre los integrantes del equipo y preparar el material de campo y los recursos necesarios.

Una vez realizado esto, viene la etapa medular del DP que es el trabajo con la comunidad, aplicando las técnicas participativas. El paso inicial es una reunión que tiene como propósito la explicación de la razón del proyecto, la motivación a la participación y la aclaración de expectativas.

Se continúa con la identificación de los objetivos de la comunidad; con este momento se explica a los miembros de la comunidad participante, el propósito del DP y la importancia de que la propia gente exponga sus ideas. Puntualizar en la importancia de su participación en todo el proceso. Se establecen también los acuerdos de cooperación entre el proyecto y los participantes para llevar a buen término todas las actividades.

El siguiente paso es ya la aplicación de las técnicas participativas con la finalidad de conocer y analizar el sistema comunal. Se da un proceso de aprendizaje mutuo: campesino-facilitador. Esto permite identificar los problemas que afectan a la comunidad y cuales son las oportunidades o alternativas que podemos encontrar. Con esto es posible ya tener una lista de propuestas o posibles hipótesis de desarrollo, que en un paso siguiente se priorizan. Se establece así la o las hipótesis finales a desarrollar en una siguiente fase de la investigación participativa.

Diagrama 1

Etapas	Actividades
Preparacion	<ul style="list-style-type: none"> • Selección del equipo técnico • Selección de la comunidad • Objetivos del equipo facilitador • Análisis de información secundaria • Establecer relaciones con otros actores que trabajen en la comunidad: Instituciones ONG's • Preparación logística
Trabajo con la comunidad	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación de los objetivos de la comunidad • Aprendizaje y análisis de la información • Identificación de los problemas y las oportunidades • Identificación de propuestas preliminares • Identificación de las prioridades • Evaluación y devolución del conocimiento a la comunidad

Etapas y actividades del Diagnóstico Participativo

Una vez teniendo la propuesta final, viene ya la etapa final del diagnóstico que es la evaluación de todo el proceso del DP y devolución a la comunidad de la información generada. Como se había comentado, el DP necesita seguimiento; es necesario echar a andar la propuesta final de desarrollo, la cual podría tomar la forma de un nuevo proyecto de investigación pero orientado a la búsqueda / implementación de soluciones a los problemas identificados por la comunidad.

Técnicas participativas

Las técnicas de obtención y análisis de información que pueden ser utilizadas para el DP, son de variada naturaleza, aunque están operativamente basadas en dinámica de grupos. Pueden tener objetivos diferentes: de visualización e interpretación (por ejemplo: mapas, modelos, diagramas, etc.), descripción de vivencias (por ejemplo: entrevistas semiestructuradas, charlas grupales, historias, etc). Las técnicas del DP se aplican no solamente a diagnósticos iniciales, sino al realizarse tareas de evaluación, planificación y monitoreo de actividades locales de desarrollo.

A continuación se presenta una lista de las técnicas participativas reportadas en la literatura:

- Lectura de fotografías aéreas

- Observación directa
- Entrevistas semi-estructuradas
- Discusión en grupo
- Informantes clave
- Mapas y modelos
- Calendarios estacionales
- Diagramas históricos
- Caminatas y diagramas de corte transversales (transectos)
- Ordenamiento por preferencia
- Investigaciones de las categorías de la riqueza
- Ordenamiento cuantitativo
- Vídeo y carteles
- Drama y teatro
- Talleres y discusión intensivos
- Diagramas de Venn
- Lluvia de ideas
- Diagrama de parcela
- Árbol de problemas
- Árbol de soluciones
- Inventario de posibles temas para la búsqueda de opciones

No todas ellas son usadas en cada actividad de diagnóstico. Algunas técnicas son usadas en ciertas combinaciones para una determinada actividad durante el proceso de investigación. Esto es, se usan de acuerdo con el tema a tratar en forma creativa, flexible y no como una receta .

Del listado de técnicas participativas citado anteriormente son, la entrevista semi-estructurada (considerada la base metodológica de la mayoría de las técnicas del DP), mapas y modelos, calendarios estacionales, transectos, diagramas históricos, y diagramas de Venn, son mas utilizadas durante el DP, y por tanto, tema de estudio en el presente capítulo.

Entrevistas semi-estructuradas

Es el fundamento de la mayoría de las técnicas del DP. Consiste en entrevistas a individuos o grupos de individuos acerca de un tema. Su experiencia, opinión, la historia autobiográfica, pueden ser algunos de los temas a tratar. En la entrevista solo se determinan los temas a ser tratados; nuevas preguntas o temas surgen como consecuencia de las respuestas obtenidas.

Los tipos mas comunes de entrevistas semi-estructuradas incluyen: entrevistas individuales, entrevistas a grupos elegidos y entrevistas a grupos generales

El objetivo es aprender por medio de los entrevistados, y permitir oportunidades para obtener y discutir información nueva e inesperada.

La utilidad radica en que es el principal medio de aprendizaje de un equipo de DP. Los siguientes son los componentes claves de una entrevista semi-estructurada:

- Las entrevistas son informales y conversacionales, pero son cuidadosamente controladas por los investigadores;
- Los entrevistadores usan una lista de prueba preparada para guiar la entrevista;
- Los entrevistadores deben evitar realizar preguntas inducentes.
- Los entrevistadores en general trabajan en pequeños equipos interdisciplinarios.
- Los entrevistadores hacen un registro detallado de la entrevista durante la misma o inmediatamente después.
- Los entrevistadores comprueban cada tema para ir mas allá de las respuestas típicas: juzgan cuidadosamente y comprueban las respuestas dadas en cada pregunta, y por medio de una investigación hecha de cada tema según las diferentes formas de encuestar.

Pasos a seguir:

1. Preparar una lista de los temas y subtemas en los que se basará la entrevista. Al principio será muy amplia, pero tendrá que ser detallada mas adelante cuando el equipo centre su investigación en un número limitado de asuntos o temas.
2. El entrevistador debe preparar sus instrumentos (plumones, lápiz, cuaderno de campo, etc).
3. Dividir las tareas dentro de los miembros del equipo entrevistador; uno que controle la entrevista, uno o dos que tomen apuntes, otro que observe la entrevista e identifique limitaciones y errores en la aplicación de la técnica , y posteriormente señale formas posibles de mejoramiento.
4. Decidir los temas a tocar en la entrevista (de la lista total) y el orden en que se abordarán. Ser flexibles en esto.
5. Tratar de no llegar en autos oficiales. Estacionar el auto y caminar.
6. Elegir la mejor hora para la entrevista; tratar de no interrumpir las actividades laborales de los informantes.
7. Evaluar previamente la situación en que la entrevista será llevada a cabo. ¿Estarán todos los informantes en una buena situación para contribuir con respuestas?, ¿Será mejor sentarse?, ¿Es posible que el investigador cause

molestia?, son algunas de las situaciones a considerar antes de salir a realizar la entrevista. Lo anteriormente esta muy relacionado con la forma de vida de la comunidad objetivo de estudio.

8. Comenzar saludando en la forma habitual; proseguir con la presentación de cada uno de los integrantes del equipo de trabajo, y luego explicar el propósito de la visita. Ser honesto y no dar promesas de beneficios futuros.
9. Decir que se está aquí para aprender. Pasar algún tiempo en conversación casual antes de comenzar el interrogatorio. Comenzar a preguntar haciendo referencia a algo visible; empezar por lo físico y moverse a lo abstracto más adelante.
10. El entrevistador debe sentirse seguro y a gusto con la tarea, tener buen ánimo, observar con interés, escuchar con atención, seguir la secuencia de la conversación sin perder de vista sus temas.
11. Al tomar notas no molestar al entrevistado. Primero es importante pedir permiso para hacerlo. Usar libretas pequeñas de apuntes y no grandes hojas.
12. Después de la entrevista dar las gracias al entrevistado. Preguntar si tienen alguna pregunta por hacer.

Sugerencias

- No realizar preguntas que inducan a una respuesta. Es decir, preguntas que llevan a responder si o no, no preguntar: “¿Cree Ud. Que si usa el pesticida X su producción de maíz aumentará?”; mejor preguntar: “¿Qué opina Ud. del posible resultado con el uso del pesticida X en su producción de maíz?”.
- Cuando sea necesario obtener mas detalles, mayor elaboración o mas profundidad en el tema, investigar en las respuestas del entrevistado utilizando las siguientes herramientas: ¿Qué?, ¿Cuándo?, ¿Dónde?, ¿Quién?, ¿Para que?, ¿Cómo? (McCracken, 1991).
- Formular preguntas sobre un mismo tema; agotarlo e iniciar sobre otro tema, según sea el caso.
- La entrevista no es el momento para dar instrucciones, pero durante la conversación se puede mostrar conocimiento sobre el tema, no para imponerlo sino como un aporte a la conversación.
- Existe dificultad en el uso del tiempo para hacer la entrevista y para transcribir los contenidos. La riqueza de la entrevista resulta de la profundidad; pero el entrevistador no tendrá la oportunidad de realizar muchas entrevistas. Por esta razón se puede combinar la entrevista con otras técnicas gráficas que registren inmediatamente la información (por ejemplo, usando hojas de rotafolio).

- Formar una opinión personal sobre las respuestas. Tratar de emitir inmediatamente un juicio sobre si la información proporcionada es un hecho, opinión o rumor. Registrar la opinión.

Mapas y modelos tridimensionales

Son dibujos (mapas) y representaciones (modelos) de los rasgos físicos de un área. Son utilizados para entender la percepción de los campesinos sobre su propia realidad, ya que ellos mismos dibujan su entorno en sus propias categorías.

El objetivo es proporcionar una síntesis y una visión general de los recursos y de las condiciones locales.

Muchas veces se usan los mapas al comienzo de un DP como ayuda para ubicar ríos, casas, cultivos, bosques, cerros y carreteras. También puede servir para profundizar conocimientos específicos; por ejemplo, en los mapas se pueden ubicar a los campesinos experimentados, a los mejores ganaderos, a las mujeres que curan con hierbas, los artesanos, etc. Esto facilita la búsqueda posterior de las personas más experimentadas para hacer un gráfico histórico, por ejemplo.

Se pueden utilizar mapas y modelos en los siguientes contextos:

- Al comenzar un estudio exploratorio de un área desconocida.
- Para involucrar desde el comienzo a la gente de la localidad en una investigación participativa por medio del uso de mapas o la confección de modelos en una actividad grupal.
- Para conocer las diferentes percepciones que se tienen de un medio ambiente local, pidiéndole a varias personas por separado que construyan un mapa de su comunidad y así poder comparar las representaciones que produzcan.
- Proporcionar una referencia que se utilizará en discusiones y reuniones posteriores.

Pasos a seguir

a) Elaboración de mapas

- Acordar con anticipación la fecha en que se realizará la actividad, para que el campesino planifique su tiempo y sus tareas. Sin embargo, esto puede suceder espontáneamente.
- Antes de empezar se explica el tema, la mecánica y la utilidad de los mapas.

- Para hacer los mapas se necesita papel grande (cartulina u otro papel de por lo menos 60 x 80 cm). Los mapas también pueden hacerse en el piso, con material natural como tierra, platas, maderitas o simplemente trazando con un palo en el suelo.
- Los mapas pueden hacerse de forma individual y/o grupal. Cuando se realiza en forma individual, se deja que el campesino vaya dibujando su comunidad, pone carreteras, caminos, casas, cerros, terrenos de cultivo, etc. Es conveniente tener una idea clara de qué aspectos ir preguntando al dibujante mientras va construyendo el mapa. Esto permite al campesino ir buscando situaciones, detalles, etc., pues mientras va dibujando las preguntas le ayudan a recordar y consecuentemente a incorporar mas información. Hay que tener mucho cuidado de no dar consejos.
- Cuando el campesino termine se debe revisar el dibujo y se pide una explicación del contenido, los detalles, para que después no sea mal interpretado.
- Cuando se hace un mapa en grupo, el proceso varía; se va construyendo con dibujos el mapa de la comunidad y el grupo señala discrepancias, precisiones y contradicciones. Es más un proceso de conceptualización y discusión más que hacer un mapa legible. El mapa sirve de foco para la discusión y como punto de partida para exponer las causas de los problemas y encontrar alternativas de acción. El mapa como producto de la discusión contiene datos sobre la comunidad y, además, refleja discrepancias y conflictos existentes.

a) Modelos tridimensionales

- Usar dentro de lo posible, materiales locales (polvo de color, piedras, ladrillos, conchas, etc.).
- Permita tiempo suficiente para la construcción; siéntese con los constructores mientras ellos están haciendo el modelo, y escuche sus explicaciones de porque lo construyen en la forma que lo hacen. Observe que es lo que ponen primero. No se entrometa en la construcción, ni de consejos de cómo construir el modelo.
- Una vez que el modelo esté terminado dibújelo en papel. Si es posible tome una fotografía del modelo terminado.

Sugerencias

- Desarrollar las técnicas en el terreno mismo, con gente de la localidad.
- Tener disponible marcadores de punta gruesa y en varios colores; esto estimula la confección de dibujos claros. Tener buena disponibilidad de los mismos.

- También puede utilizarse pizarras, ya que ellas permiten hacer cambios en los dibujos con facilidad. Sin embargo, es necesario hacer un registro de la versión final en un formato permanente.
- En el terreno mismo o en los hogares de los entrevistados, puede dibujarse en la tierra o utilizarse materiales locales en la construcción de mapas y modelos, si es que esto es usual en la localidad, pues existe la posibilidad de que la gente se sienta más cómoda utilizando un lápiz y papel.
- Permitir que la gente de la localidad oriente el desarrollo de las técnicas como ellos quieran .
- Si fuera posible, llevar una fotografía aérea del área, utilícela durante sesiones de confección de mapas para comprobar la información. Sin embargo no trate de corregir a los dibujantes mientras están confeccionando el mapa.
- Al comienzo puede ocurrir que el campesino no quiera dibujar por vergüenza. Insista con el criterio de que se necesita conocer la zona así como el campesino la ve, se le debe explicar que no importa la calidad del trazo sino las características de la comunidad que se plasman en el mapa.
- Cualquier técnico puede tentarse, tomar los lápices y hacerle el dibujo al campesino, si lo hace, pierde la oportunidad de acercarse a su percepción y va imponiendo su criterio técnico.
- Los investigadores deben tomar en cuenta que los mapas de los campesinos no corresponden a los mapas que se conocen como productos de los topógrafos. Para el campesino las dimensiones van en relación con su persona o con su comunidad.
- El mismo contorno del mapa puede copiarse y utilizarse para producir mapas adicionales que muestren diferentes tipos de información.
- Para revelar las percepciones de diferentes personas sobre las cosas importantes en su medio ambiente, pida a varias personas que dibujen un mapa de los alrededores que le son familiares. Compare los diferentes mapas producidos, y converse con las personas que confeccionaron los mapas sobre los rasgos más acentuados y los rasgos omitidos en los mapas.

Limitaciones

- La producción de mapas y modelos puede convertirse en una tarea demorosa y elaborada si no se mantiene bajo control. La tendencia de las personas que tienen habilidad artística o que han sido entrenadas en el dibujo técnico, es que dibujan mapas con demasiada exactitud, y en forma muy detallada y estética.
- Los mapas y modelos pueden ocultar la realidad. Áreas de tierra que están en disputa o terrenos ocupados ilegalmente, pueden ser representados como una

visión “oficialmente aceptable” del área; esto es especialmente cierto cuando la gente de la localidad no confía en los investigadores que vienen de fuera.

- La proporción relativa de diferentes partes del mapa o modelos puede ser bastante diferente a la realidad. Puede ocurrir que lugares importantes (tales como áreas de vivienda, lugares sagrados o el centro de la comunidad) sean dibujados desproporcionadamente grandes. El mapa o el modelo no deberá ser considerado como una copia exacta a escala de la realidad.

Calendarios estacionales

Son diagramas que muestran la estacionalidad de algunos componentes del sistema de vida u otras variables que tengan un patrón estacional.

El objetivo de su realización es el de ampliar el alcance de la investigación más allá del periodo de aplicación de ésta. Explorar las diferentes condiciones y los diferentes usos que se dan a los recursos en diferentes épocas del año.

Estas representaciones proporcionan la dinámica del tiempo en la realidad del campo. La vida transcurre en ciclos; existen ciclos generacionales, de una persona o una familia. También existen los ciclos agrícolas en los cuales podemos ver la rotación de los cultivos a través de varios años. En los ciclos se pueden apreciar las actividades agropecuarias y recreo de las personas, los recargos de trabajo, la situación interna de las personas, la historia de una comunidad, de una coyuntura, la situación económica, los cambios que recuerdan los ancianos y la comparación con la situación actual.

Los ciclos permiten la posibilidad de ver la interrelación de diferentes aspectos, por ejemplo, la relación entre clima, producción, migración y enfermedades. Teniendo en forma paralela estos aspectos, se hacen deducciones acerca de la interrelaciones entre los problemas.

Los posibles contextos en los que se utiliza el calendario estacional incluyen:

- La investigación de patrones estacionales de lluvias, uso de las aguas, uso de la tierra, manejo de la ganadería; demanda de mano de obra; problemas de salud; oportunidades de ingreso, etc.
- La identificación de períodos de tensión, cuando un número de problemas se presentan al mismo tiempo.
- La identificación de las diferentes condiciones de estacionalidad que enfrentan diferentes grupos dentro de una comunidad
- La identificación de la mejor época del año para introducir nuevas actividades (tomando en consideración los periodos de mayor trabajo, los periodos en que la gente sale a trabajar fuera, los problemas de salud, etc.)

Pasos a seguir

1. Antes de la elaboración del calendario se realiza una entrevista con un campesino o con un grupo de ellos. Con él o ellas se determina cuando es el inicio de un ciclo: el inicio del año agrícola, la fecha de nacimiento, el horario del día (el punto de partida del calendario no necesita ser el primero de enero) y se recopila la información sobre ciclo vital, anual o diario. El periodo se divide en unidades pequeñas relevantes al evento que se está considerando (días, meses, épocas del año, etc.).
2. Cuando las ideas hayan sido expuestas elaboramos conjuntamente el gráfico bajo la dirección de los campesinos.
3. Aunque se pueden hacer gráficos con materiales en el piso, el uso de papel y lápices de color tiene la ventaja de ser transportables.
4. Después se recoge la información en un dibujo, el cual sirve de base para la discusión grupal. Para describir los ciclos se va preguntando por varios factores (según la naturaleza del ciclo a describir), cuyos valores y frecuencia se describen en el diagrama.
5. En el ciclo anual se pueden establecer relaciones entre lluvias, crédito, enfermedades, mano de obra alimentos disponibles, etc. En el ciclo vital se ven relaciones entre deudas, problemas sociales, enfermedades cambios tecnológicos como fuente de análisis de épocas históricas, inclusive el sentimiento personal se puede trazar para comprender los cambios históricos.
6. Lo más importante durante la elaboración de los ciclos es la propia reflexión del campesino y la discusión del grupo.

Sugerencias

- Use los términos locales del periodo / ciclo bajo descripción cuando los habitantes de la localidad están dibujando o discutiendo sobre un diagrama.
- Cuando las tendencias estacionales no pueden ser cuantificadas, pueden obtenerse estimaciones aproximadas por medio de comparaciones de cada mes con un máximo o mínimo identificado en el ciclo, siguiendo la metodología del ordenamiento cuantitativo; por ejemplo, pueden obtenerse patrones de trabajo estacionales haciendo la pregunta ¿Cuál es el mes mas ocupado?. Después se pregunta por el segundo mes mas ocupado y se compara que tan diferente es del primero (la mitad, un cuarto), y continuando hasta completar todos los meses. Es obvio que este proceso es mucho mas sencillo si son los mismos informantes los que están construyendo el calendario.

- La estacionalidad de los sistemas de vida, de los recursos disponibles y de las épocas difíciles pueden ser investigados mas profundamente por medio de la construcción de una serie de calendarios con diferentes factores de cambio. De esta manera los nexos existentes entre diferentes partes del sistema se hacen más claros.
- No se debe tomar al calendario como lo más importante, sino la discusión y el proceso de aprendizaje que se produce. El calendario es el producto que resume una vasta cantidad de información.
- Es posible que convenga recabar la información de cada proceso productivo por separado, e integrarla después en uno, dos o tres calendarios estacionales que combinen ciertos temas.
- Aunque generalmente un cronograma estacional se inicia en enero, puede haber razones para iniciarlo al llegar las lluvias o las siembras. En ocasiones servirá un calendario de 18 meses en vez de 12, en donde se pueda representar mas de un ciclo anual, permitiendo así una cierta repetición de las tendencias.

Limitaciones

- Los calendarios tendrán una tendencia a mostrar variaciones anuales “normales” o “promedios”. La diferencia de año a año pueden perderse.
- Los diagramas que combinan un número de calendarios diferentes pueden llegar a ser bastante complejos y pueden ser difíciles de presentar en una reunión de comunidad. Puede ser mejor mostrar los calendarios individualmente, uno a la vez.

Transectos

Los transectos o cortes transversales son los perfiles de la comunidad o de la finca donde están expuestos los diferentes usos y calidades de las diferentes zonas. El dibujo de los cortes va combinado con una caminata que atraviesa el territorio de la comunidad o de la finca, que permite ver la naturaleza, las construcciones, la infraestructura y los cultivos de cerca. Así se van detectando los problemas de la comunidad.

El objetivo de la técnica es conocer el rango de diferentes condiciones, problemas y oportunidades en cada parte del área de estudio. Familiarización con el area de estudio.

Características y utilidad

- Al comienzo de un diagnóstico la caminata misma obliga al investigador a visitar las áreas más remotas, las que se dejan de lado con mas facilidad. A menudo, durante estas caminatas, se descubren patrones inesperados de uso de terreno o actividades interesantes que se están llevando a cabo.
- Para verificar un mapa o un modelo del área construido anteriormente.
- Para facilitar un muestreo estratificado de los informantes, deteniéndose a diferentes intervalos durante la caminata para entrevistar a familias que viven en diferentes localidades.
- El resumen diagramático de la caminata es un medio útil para destacar áreas con problemas u oportunidades específicas que luego se incluyen en el informe. Es un buen complemento al mapa.
- Tipo de información que se puede recabar:
 - El análisis de los recursos naturales, al dibujar los usos del suelo, los cultivos, la ganadería, los problemas, los potenciales.
 - Datos económicos de productividad, de migraciones, de productos comerciales y de flujo de productos, gente y capitales.
 - Información sobre la organización social; donde hay agricultores individuales, donde se realizan trabajos comunales, donde viven las autoridades, donde se localizan los servicios públicos
 - También se puede representar los cambios históricos en el uso de los recursos naturales.

Pasos a seguir

La elaboración del transecto consiste en 2 pasos principales. Primero, el recorrido por el campo, buscando atravesar el territorio de un extremo a otro; segundo, el dibujo del perfil donde se incluye toda la información y zonificación percibida y descrita por los campesinos. A menudo resulta útil construir primero un mapa o modelo del área para ayudar a identificar mejor los caminos a seguir en la caminata por la zona y así incluir en ella los diferentes usos que se da al terreno.

- El recorrido se hace con un grupo pequeño de miembros del equipo de investigadores e informantes campesinos (informantes clave). Antes de iniciar el recorrido, el grupo va trazando en el mapa (anteriormente elaborado) un corte transversal por el terreno que abarque la diversidad de zonas de vida y producción de la comunidad. Si la comunidad es grande y variada, se pueden

formar varios grupos que elaboren varios cortes. El recorrido permite conocer la zona, ver los problemas, hablar con otros pobladores, acompañar a los campesinos cuando laboran en sus terrenos. Estas caminatas pueden durar desde unas pocos minutos a varios días; todo depende de la escala del área en cuestión y de la cantidad de detalle que se necesite.

- Después del recorrido, un miembro del equipo va haciendo el perfil con un campesino conocedor de la zona. Juntos van llenando las diferentes categorías de uso del suelo, cultivos ganados, bosques, casas, etc. Se utiliza un papel grande y se coloca en la pared. Una vez trazado el perfil global, abajo se señalan las zonas y se rellenan las categorías establecidas. Al final se revisa el producto para corregirlo y añadir nuevos aspectos.

Sugerencias

- Hacer una selección de los temas para tratar en los perfiles.
- No limitar el área a una ruta en línea recta; pueden ser rutas en zigzag o circulares. Lo más importante es visitar un rango de zonas diferentes.
- Dedicar tiempo para determinar bien las diferentes zonas de producción.
- Un corte transversal requiere tiempo. Calcular, según el tamaño de la comunidad, el tiempo para caminar pausadamente de lindero a lindero. Después se necesitan de unas horas para dibujar el corte y para poner las leyendas respectivas.
- Invitar a algunos habitantes de la localidad en la caminata. Su conocimiento del área es un componente vital de la investigación.
- Durante el camino hacer preguntas, dibujos, tomar fotografías y notas que sirvan de registro de la caminata.
- Anotar aquellas características de cada área que son relevantes al estudio que se está realizando. No tratar de documentar cada rasgo observado, usar generalizaciones cuando sea apropiado. Incluir una lista de los problemas y oportunidades de lugares específicos en la zona.
- No proponer, durante el recorrido y el llenado del perfil, términos técnicos que parecen familiares; el objetivo es detectar la visión campesina: que clases de suelo existen, cómo los denominan, cuáles son los criterios de selección que usan y los posibles usos que les dan.

Limitaciones

El hacer un transecto apresuradamente puede significar perder las diferencias más sutiles que se dan en diferentes áreas, así como los paisajes inesperados.

Un diagrama de transecto no puede representar todos los problemas. Es mejor incluir en otro tipo de diagrama, los problemas o las oportunidades que no tienen una ubicación geográfica claramente definida.

Es posible que el diagrama de transecto completo tenga utilidad como un registro sumario del equipo de investigadores, y que no sea apropiado para ser presentado a una audiencia analfabeta.

Diagramas históricos

Son representaciones de tendencias y cambios a largo plazo, que incluyen eventos del pasado. Una variante de la técnica incorpora posibilidades en el futuro.

El objetivo de esta técnica consiste en identificar los cambios del pasado e imaginar los posibles cambios en el futuro en las actividades y condiciones, y comenzar a analizar las razones de estos cambios.

Es una técnica mediante la cual se presentan, paralelamente, secuencias evolutivas de distintos procesos y de esta manera se visualiza la historia local y su relación con otros contextos. Un ejemplo, determinar en los últimos cuarenta años lo que ha pasado con la tierra, el agua, la ganadería y la producción agrícola. Esto nos ayuda a visualizar problemas, cómo se han generado, desde cuando, las tendencias y las interacciones con aspectos ecológicos, sociales, legales, etc. Los diagramas históricos también se pueden establecer basándose en historias de vida; para ello se recurre a campesinos reconocidos por su experiencia.

Los diagramas pueden construirse durante o después de las entrevistas con miembros de la comunidad, en el contexto del estudio sobre:

- La revisión de actividades realizadas previamente y las condiciones de vida en la comunidad.
- La exploración de futuros proyectos con la gente de la localidad.
- La puesta en marcha de algún proyecto de desarrollo planeado en el contexto de actividades previas (éxitos o fracasos) y otros eventos futuros que se sabe que ya han sido planeados.

Pasos a seguir

El gráfico se elabora , considerando las siguientes reglas:

1. El entrevistador y el (los) entrevistado (s) se ponen de acuerdo para reconstruir una secuencia de procesos considerados relevantes por el o los entrevistados.

2. Se inicia con una fecha, la cual se coloca en un primer casillero a la izquierda. De arriba hacia abajo se colocan los intervalos de tiempo a considerar (década, veintena, etc.).
3. En la siguiente columna se representan con un código especial cada uno de los periodos de vida que el entrevistado considera importante, haciendo coincidir con la secuencia de los periodos de tiempo establecidos. Una tercera columna puede llenarse con el / los temas relacionados a cada periodo de tiempo (por ejemplo, uso de la tierra, producción animal, acontecimientos sociales, etc.) y considerados de importancia para los objetivos de investigación.
4. Se completa el gráfico al llenar las columnas, siguiendo la cronología de los eventos.

Sugerencias

El equipo formula la cronología basándose en discusiones con grupos pequeños (de ocho a doce miembros) de la comunidad, incluyendo hombres y mujeres, con especial atención a los viejos. Con eso se estimula el intercambio de conocimientos entre generaciones y para dar voz a diferentes sectores de la población.

La revisión de información secundaria puede indicar algunos eventos importantes a nivel regional, que también pueden emplearse como material para elaborar preguntas generadoras.

Para facilitar la elaboración del calendario, se recomienda escribir cada evento en la mitad de una hoja carta (a modo de tarjetitas), indicando en la parte de arriba el año en que ocurrió; se puede pegar en la pared en orden cronológico y al final leer el conjunto completo para ver si falta algo o si existe algún error u omisión. Otra opción es hacer la cronología dibujada, con representaciones ideográficas sencillas: vacas, caras, árboles etc., esto puede ser muy útil en el caso de indígenas monolingües.

Es importante que un miembro del equipo de investigadores anote la historia, y después se acompañe el dibujo con su leyenda en la memoria o reporte final del estudio.

Los gráficos históricos requieren un procesamiento muy trabajoso. Por eso es conveniente realizarlo en varias sesiones de entrevistas. En una primera fase se toma nota de la historia de vida, en general, y en la siguiente sesión se puede ir configurando los temas que están interrelacionados. En una tercera se elabora el gráfico y se corrige.

Todos los detalles son muy importantes. Nunca hay que corregir ni interferir al campesino con el argumento “eso no”. Es recomendable empezar con ancianos y ancianas, luego seguir con los jóvenes. Así se completa una visión con la perspectiva de género y generacional.

Limitaciones

Estos diagramas son útiles para mostrar cambios visibles, especialmente aquellos que son importantes para los entrevistados. Sin embargo son menos útiles y menos confiables para descubrir cambios más sutiles como por ejemplo la calidad de vida, la condición de la mujer, o las actitudes adoptadas frente a intervenciones externas.

Los ejercicios de diagramas confían en un alto grado en la memoria de la gente, por lo que son mejores cuando se hacen en discusiones de grupo o se repiten con diferentes individuos para permitir así una comprobación adicional.

Diagramas de Venn

Es un diagrama que muestra las instituciones y grupos informales que toman decisiones dentro de una unidad administrativa y las interacciones entre ellas. La técnica se emplea para representar con círculos de diferente tamaño la importancia que tienen las instituciones y los grupos sociales para la comunidad y con una línea muestra la distancia con que se percibe esta institución.

El objetivo que se persigue es la identificación de los grupos e instituciones que operan en una comunidad y la magnitud de su interacción y cooperación.

Los diagramas de Venn son un tipo de mapa institucional y son útiles en el contexto de:

- Aprender la importancia tanto de grupos formales como informales dentro de una comunidad y su interacción. En especial cuando se investiga el significado relativo de la estructura del poder formal y de las unidades no formales para la toma de decisiones.
- Destacar las oportunidades para una mejor comunicación y establecer actividades conjuntas entre los grupos.
- Destacar los problemas emanados de la inexistencia o no involucramiento de ciertos grupos sociales e instituciones en la vida comunitaria.

Limitaciones

- Un diagrama de Venn es un cuadro muy simplificado de algo que es posiblemente una situación compleja y dinámica. Se utiliza más como centro de atención en una discusión y como medio para revelar la percepción de la comunidad sobre la participación de diferentes instituciones en la vida comunitaria, que como un método de análisis de mayor profundidad.

- Los entrevistados pueden sentir que deberían dibujar el diagrama para mostrar el estado oficial de la cuestión, el que puede ser bastante diferente a la realidad misma.
- Es posible que los grupos menos formales y menos obvios sean ignorados y que se representen únicamente a las instituciones oficiales.

Pasos a seguir y sugerencias

1. Preparar el material: una hoja de papel o cartulina del tamaño que quepa en una mesa, círculos de cartulina de color de diferente tamaño (5,10,15 y 20 cm de diámetro), tijera, marcador y goma. Los círculos también se pueden hacer durante el proceso de implementación de la técnica.
2. El primer paso consiste en hacer un círculo donde se señale la institución, persona o grupo que funcione como punto de partida para destacar la magnitud de las relaciones e interacciones. Enseguida se nombran todas las instituciones o grupos sociales que existen en la comunidad. Para cada nombre se escoge un círculo que varía de tamaño según la importancia que le otorga el campesino. Después se colocan alrededor del círculo inicial o de punto de partida anteriormente descrito. Según la magnitud de la interacción, se escoge una distancia entre el círculo inicial y los otros círculos. Cuando hay dos instituciones o grupos convergentes con idéntica importancia e interacción, se colocan los círculos sobreponiendo uno sobre el otro.
3. En la medida que se avanza con la tarea, se revisa que grupos o instituciones hemos olvidado. Al final, se pegan los círculos.
4. El tamaño de cada círculo representa la importancia relativa de la institución que representa.
5. Los círculos se colocan juntos según la cantidad de cooperación y contacto que se sabe existe entre las instituciones. Un mayor traslape significa una mayor cantidad de trabajo que comparten.
6. Las instituciones más remotas, las menos significativas, se colocan en la periferia del diagrama.
7. El cuadro final es analizado conjuntamente

Algunas sugerencias adicionales

- Los diagramas de Venn se construyen mejor durante entrevistas con personas de la localidad que están bien informadas.
- Es útil repetir este ejercicio con un número de diferentes entrevistados, para comprobar la información.

- Puede ocurrir que el campesino no mencione su institución. Se debe crear confianza para que el campesino se sienta libre de poner los círculos del tamaño y la distancia que él crea conveniente, aún cuando pueda resultar una crítica a su propia institución.
- Los diagramas de Venn parecen muy simples cuando se ve el proceso de elaboración y el resultado; de una ojeada se puede observar quien trabaja en la comunidad y con que aceptación. Lo más importante es el diálogo y la discusión que se genera y que va exponiendo posibles conflictos y problemas entre grupos e instituciones.
- Algo que es importante tener en cuenta al realizar la técnica, es la dificultad de explicar con pocas palabras la tarea; es decir, como señalar la importancia y la cercanía de las instituciones con los círculos de diferentes tamaños.

Referencias

- Anderson S. y Mc Craken J. 1994. Diagnóstico Participativo: Un Manual Aplicado de Técnicas. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán. Mimio.
- Centro de Investigación en Ciencias Agropecuarias (CICA). 1997. Investigación para el desarrollo rural. Diez años de experiencia del CICA. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México.
- GOPA-IAK GZT. 1998. Proyecto Desarrollo Rural Cajamarca. I Taller de Arranque, campaña 1998-99: Desarrollo Participativo de Tecnologías, 27 de Noviembre al 6 de diciembre, Cajamarca, Perú.
- Instituto de los Recursos Mundiales. Grupo de Estudios Ambientales A.C. (GEA) 1993. El proceso de evaluación Rural Participativa. Una propuesta metodológica. GEA. México D.F.
- Mc Craken J. 1991. Diagnóstico rural rápido: Un manual. México. Mimio.
- Pretty J., Guijt I., Thompson J., y Scoones I. 1995. Participatory learning and action. A trainer's guide. International Institute for Environment and Development, Londres, Inglaterra.
- PRODAF GZT. 1994. Nuestro congreso. Manual de diagnóstico rural participativo para la extensión campesina. Santiago de Puriscal, Costa Rica.

15

MATRIZ DE CONTABILIDAD SOCIAL

Germán A. Zárate-Hoyos*

Introducción

El entendimiento de los factores que influyen en el manejo de los recursos naturales con el fin de incorporar indicadores de sostenibilidad, requiere la realización de estudios tanto en el ámbito ecológico como en el social y económico entender la complejidad social y económica de los poblados y zonas rurales obliga a buscar instrumentos que puedan captar sus peculiaridades. La ausencia de datos a escala nacional sobre estas cuestiones, ha motivado el uso de datos a nivel de municipio o poblados para captar características del medio rural, como por ejemplo, las unidades de producción y consumo con sus variadas actividades diversificadas. Conociendo las características sociales y económicas es posible el planteamiento de opciones de desarrollo sostenible de las poblaciones humanas estudiadas.

En resumen, se requiere la búsqueda de una muestra representativa de los hogares de las comunidades para conocer sus principales elementos y características, considerándolos como unidad de análisis (estructura familiar, educación, emigrantes, actividades productivas y servicios, ingresos y gastos, trabajo familiar, consumo propio y recursos naturales). Con esta información, se puede elaborar lo que se conoce a nivel nacional como una matriz de contabilidad social para pueblos (MCSP) que servirá para: a) Hacer estudios sobre pobreza y sus determinantes; b) Estimar económicamente el impacto de la educación en el mantenimiento de los recursos, en la productividad agropecuaria, en la migración, etc.; c)

* State University of New York at Cortland y El Colegio de la Frontera Norte. Para otros trabajos similares que se están haciendo a nivel rural en México se puede consultar el Programa de Estudios del Cambio Económico y la Sustentabilidad del Agro Mexicano en www.precesam.colmex.mx

Hacer estimaciones estadísticas sobre la no-recursividad de los resultados sobre los recursos naturales en las decisiones de producción (es decir, modelos simultáneos o simultaneidad de las decisiones)¹

La MCSP es un instrumento muy flexible, adaptable a diferentes sujetos de estudio y para aspectos distintos: nacionales, regionales, de ciudades, de comunidades, etc. Una MCSP es una base de datos para elaborar modelos multisectoriales y hacer simulaciones de cambios en materia de política (ejemplo, los PRODERS en México). Es decir, con un modelo multisectorial pueden medirse los cambios en la estructura socioeconómica de los sujetos de estudio (en nuestro caso, las comunidades y sus hogares), así como de sus relaciones con el exterior provocados por *shocks* exógenos a la comunidad. Además en ellas pueden incluirse los servicios ambientales.

Los modelos multisectoriales son un instrumento poderoso de análisis cuantitativo, que no cuenta con las limitaciones de los modelos puramente microeconómicos de los hogares. Un ejemplo de modelo multisectorial es el de multiplicadores. En este capítulo se exponen los lineamientos para la elaboración de una MCS, acompañado de un ejemplo realizado en el municipio de Hocabá en la Zona Henequenera del Estado de Yucatán, México.

Generación de datos por medio de encuestas de hogares

Caracterización general de la comunidad y los hogares

Es de suma importancia conocer algunos datos del universo de estudio, es decir, de todo el pueblo bajo estudio, como:

- Número total de hogares en el pueblo y la composición de hogares
- La composición de la producción agrícola, por ejemplo, si sólo se cultiva maíz o si es intercalada y/o diversificada.
- Los tipos de productores, el tipo de propiedad y el régimen pluvial (temporal o de riego).
- Los impuestos, pagos por servicios y transferencias del gobierno. El tipo de impuestos que pagan los habitantes (si los hay para la producción y para qué cultivos) y los pagos por servicios públicos y las transferencias del gobierno al pueblo, como por ejemplo, PROCAMPO, SOLIDARIDAD, SANIDAD VEGETAL, SALUD ANIMAL, ALIANZA PARA EL CAMPO, MEJORAMIENTO GENÉTICO, GANADO

¹ Taylor y Adelman (1996)

MEJOR, FOMENTO LECHERO, KILO POR KILO, ESTABLECIMIENTOS DE PRADERAS, FERTI-IRRIGACION, ETC.

Con esta información se identifican las principales actividades económicas en la localidad para su posterior agrupamiento, por ejemplo, agricultura (cultivos principales), ganadería, producción de frutales, madera, etc. y otra producción agropecuaria (OPA), así como otras actividades o producción no agropecuaria (OPNA), como artesanías, comercio, alimentos elaborados y otros.

Adicionalmente, el levantamiento de la encuesta también requiere de los siguientes datos

- a) Precios de los insumos e implementos de labranza (semillas, fertilizantes, abonos, etc.), precios de los bienes comprados para el consumo del hogar (aceite, huevos, verduras, etc.).
- b) Salario promedio (al día, al mes, etc.) de los jornaleros y de otro tipo de trabajadores.
- c) Costo de los servicios públicos (luz, renta de teléfono, agua, etc.).
- d) Costo de útiles escolares.
- e) Costo del transporte (a la ciudad más cercana, al lugar en donde está(n) la(s) escuela(s), etc.).
- f) Alquiler de tractores y el costo de la renta por tipo de labores y hectáreas trabajadas con el tractor (lo anterior debido a que el costo de éste puede variar por tipo de cultivo o labor).
- g) Pagos por renta y tenencia de la tierra.

La elaboración de las encuestas

Con los datos socioeconómicos de la encuesta se tendrá una especie de fotografía de todas las actividades económicas de la población durante todo el año en estudio, (en nuestro caso el de 1997), así como de su composición social (por ejemplo, los hogares que poseen tierras, los que no las tienen y reciben su ingreso por el trabajo asalariado de sus miembros, los hogares que se dedican principalmente a la venta de servicios, como el comercio o la venta de alimentos, etc. Las preguntas del componente socioeconómico de la encuesta se refieren a lo que los miembros del hogar hicieron durante el año anterior.

Debido a las limitaciones en recursos humanos y monetarios, la encuesta se hace a una muestra representativa de los hogares de las comunidades (10%). Para ello, es necesario contar con un mapa de la comunidad que es el universo para

seleccionar en forma aleatoria los hogares que se encuestarán y que darán una muestra representativa de los hogares del pueblo².

En caso de algún error en el mapa, se puede generar, de una forma sencilla, otra nueva muestra con reemplazo. Asimismo, con el mapa puede llevarse un control de los hogares ya encuestados y los que faltan. Al elaborar el mapa, se sabrá cuantos y que tipos de comercios hay en la localidad, así como el tamaño y la importancia de esta actividad.

Para seleccionar una muestra aleatoria se utilizan frecuentemente números aleatorios. Utilizando la tabla de números aleatorios, se numeran los elementos de la población de 1 a N y se toman números aleatorios de tantas cifras como tenga N. El valor del número aleatorio indicará el elemento seleccionado de la población.

Si se quiere generar un número aleatorio, por ejemplo la selección del 10% de una muestra de 20 datos, el caso de una manzana de la comunidad en estudio (20 casa habitación) para levantar una encuesta al 10% de ellos se hace en dos pasos:

- 1° Se numeran las casas habitación del 1 al 20.
- 2° Con las tablas de números aleatorios, se escoge cualquier grupo de números, después se elige una columna o renglón (Cuadro 1).

Cuadro 1

51772	74640	42331	29044	46621
24033	34912	83587	06569	21960
45939	60173	52078	25424	11645
30586	02133	75797	45406	31041
03585	79353	81938	82322	96799

Números al azar

Por ejemplo si $N = 20$ donde las cifras tiene dos dígitos, el número aleatorio debe ser $n \leq 20$, se elige por columna y se selecciona los dos primeros números < 20 . A partir de la primera columna los números aleatorios serán el 03 y 02; si continuamos usando las siguientes columnas, los números serían el 06 y el 11 (Becerril *et.al.*, 1996).

² Se dice que una muestra es aleatoria simple cuando:Cada elemento de la población tiene la misma probabilidad de ser elegido. Las observaciones se realizan con reemplazo, de manera que la población es idéntica en todas las extracciones.

Información económica general

Composición de los hogares

La primera página del cuestionario (socioeconómico) es de suma importancia en el levantamiento, pues en ella se capturan datos confidenciales sobre los miembros de la familia. La página incluye los nombres de los miembros del hogar que habitan en la casa encuestada, lo cual es importante para hacer las preguntas del resto del cuestionario pues, sabiendo desde el principio los nombres de los miembros del hogar, se podrá detectar algún olvido del encuestado (por ejemplo, el encuestador, sabiendo que en el hogar habita un adulto llamado “Pedro”, podrá saber si el encuestado dio la información sobre el trabajo de este miembro y, de no haber sido así, hacer las preguntas necesarias para conocer las actividades de Pedro y sus aportes a la producción e ingreso de la economía del hogar).

En esta primera página también se incluyen preguntas sobre las edades de los miembros y el grado de educación, es decir, primaria (grado), secundaria (grado), preparatoria (grado), escuela técnica o universitaria (grado).

Factores de producción

El uso de factores para la producción (tierra, trabajo y capital) deben registrarse tanto en términos monetarios como en términos físicos. Para la tierra, la cantidad (hectáreas) usada en la producción agrícola y ganadera y su valor monetario. Para el trabajo, el número de jornales por actividad agrícola y ganadera (tanto de trabajo familiar como de trabajo asalariado). Para el capital, número y antigüedad de los tractores y otros implementos y su valor al comprarlo y el actual.

Para poder calcular el trabajo promedio total de la población efectuado durante todo el año de 1997, es necesario saber cuantas personas económicamente activas hay en cada hogar. Para las jornadas de trabajo, hay que incluir preguntas sobre los días trabajados en promedio a la semana y durante qué período trabajan más.

Información sobre las actividades agrícolas

- 1) En la producción de cualquier cultivo, hay que hacer hincapié para saber a donde se destina éste; venta local o fuera del pueblo, autoconsumo humano, transferido a otros hogares o a la iglesia y alimento para ganado o como

semilla para la producción. En todos estos casos habrá que recabar la proporción que se destina a cada uno de ellos y el lugar a donde éste es dirigido o a que tipo de hogar se transfirió, por ejemplo si el hogar al que es transferido tiene o no propiedad de tierra o se encuentra en el mismo pueblo.

- 2) Para hacer las respectivas anotaciones de los pagos de la Actividad de Producción a los Factores de Producción, se requiere saber con exactitud si para la producción del cultivo se utilizó maquinaria agrícola (tractor, trilladora, tracción animal o labores manuales), propia o alquilada. En caso que sea alquilada, se requiere saber el valor, así como en donde se alquila (dentro o fuera de la comunidad). Es necesario saber como se traslada la producción, si se exporta, el costo del flete o acarreo y quién lo paga. Es importante saber de donde son los transportistas, de la comunidad o de fuera y a que tipo de hogar pertenece.
- 3) Se requiere saber, el pago correspondiente a los jornales empleados, haciendo énfasis en el lugar de procedencia, es decir, especificar si provienen de la comunidad o no.
- 4) El gasto referente a los insumos empleados en las actividades agrícolas (fertilizantes, herbicidas, etc.), es importante saber en dónde son comprados, dentro o fuera de la localidad, también se requiere contar con los gastos incurridos en esta actividad, así como los jornales utilizados en unidades físicas para cada una de las labores.

Información sobre las actividades ganaderas

Para esta clase de actividad es importante resaltar que se considera el inventario ganadero, así como también los animales vendidos, comprados, transferidos, consumidos en el hogar, muertos y nacidos durante el año. Si hay ventas de animales, hay que preguntar en dónde: ¿En el pueblo, en otros pueblos, etc.?; a quién: si es al rastro para producción de carne, en donde se localiza éste. Si hay carnicería en la localidad habrá que incluirla en el cuestionario.

Por otra parte, si hay animales regalados a otras familias o recibidos por éstas, mencionar qué clase de hogar es (agrícola y no agrícola). Algo similar debe hacerse en el caso de la producción de origen animal (huevos, leche, etc.).

Se requiere contar con los gastos incurridos en esta actividad, así como los jornales y/o el trabajo familiar utilizados. Así mismo será importante hacer un listado con los precios regionales de los animales que ahí existan: buey, vaca, becerro, cerdo, borrego, gallina, caballo, mula, etc.

Información sobre los negocios o actividades comerciales

Como en otros casos, es necesario saber de donde proviene la mercancía, los costos incurridos y si hay contratación de trabajadores y cuanto se les paga, así como el uso de trabajo familiar y dónde realiza las ventas, si es posible saber a que tipo de hogar son vendidas, y si vienen personas de otras comunidades a surtirse de productos (esto se puede hacer con una plática con las personas de los negocios y comercios).

Otra información necesaria*Gastos en servicios*

Es necesario saber el costo de cada servicio y en donde es pagado, siendo importantes los gastos en educación.

Bienes que tenían el año pasado

No es necesario un inventario, sino el valor de las compras hechas y en dónde se realizaron. Respecto a los bienes que son regalados, es importante saber quién los regaló (tipo de hogar) y de donde provienen.

Alimento

Como en el caso anterior, sólo se necesita saber la cantidad promedio (semanal o mensual) de los alimentos consumidos por la familia, especialmente en el caso de que sean producidos en el hogar (como huevo, leche, frijol, verduras, etc.). En el caso de que sean comprados sólo es necesario capturar el valor y su origen (el listado detallado que aparece en el cuestionario se hizo con el fin de que los encuestados recuerden sus consumos).

Hay que tener cuidado de no caer en una doble contabilización de los productos agrícolas y animales que son destinados al autoconsumo, es decir comparar la suma de las compras totales en la localidad (precisar en que negocio compra regularmente) y fuera de ésta, con las ventas de los negocios y comercio de la localidad (preguntar a quien le vende regularmente). Esto debido a que, para la MCSP, sólo le interesa el valor de las importaciones y exportaciones, así como las transacciones que se dan dentro de la localidad, es decir, de un hogar a otro.

En el caso de presentarse inflación, en las preguntas sobre los precios hay que incluir tanto a los actuales como los del año anterior. Para valorizar el trabajo familiar se puede preguntar si el trabajo asalariado puede sustituir al familiar. También es necesario considerar las ganancias netas del hogar es decir se debe descontar los inventarios de fin de año.

Transacciones en dinero y en especie

Es importante considerar tanto las ventas de parte de la producción agrícola de los hogares como el autoconsumo; el gasto en dinero y en especie que el hogar hace para contratar peones y en el uso de trabajo familiar, no asalariado, en sus actividades productivas. Es imposible diseñar un cuestionario completo para un pueblo en particular sin conocer de antemano sus peculiaridades especialmente porque las comunidades rurales realizan muchas actividades económicas fuera de la economía monetaria formal (Calva, 1995). Algunas de ellas son las siguientes.

- a) Relaciones entre el pueblo y el exterior. Habrá que saber de antemano los principales vínculos del pueblo con otros lugares de la región:
 - Ventas. Para los casos en que parte de la producción sea vendida o transferida fuera del pueblo, habrá que distinguir los destinos; por ejemplo, a otro pueblo cercano, a otro lugar en el municipio o región, fuera de la región, etc. según los objetivos de la investigación.
 - Compras. Es necesario saber si los sectores importan sus insumos directamente o a través del sector comercio en la población. Vale la pena saber si los bienes producidos por los diversos sectores son también importados.
 - Trabajo. El trabajo asalariado y su origen (local o fuera del pueblo). Si hay habitantes del pueblo que trabajen fuera y en dónde lo hacen. Registrar la migración a otras partes de México o a los Estados Unidos.
- b) *Otras actividades económicas.* Aparte de las actividades agrícolas, qué otras actividades realizan los hogares de la comunidad en conjunto, por ejemplo, ganadería, recolección y venta de frutales, caza de animales silvestres, artesanías, comercio, etc.
- c) *Agua.* Si hay riego, el costo del agua.
- d) *Labores.* Actividades laborales de los miembros del hogar durante el año (es decir, qué hacen en las temporadas de baja demanda de trabajo agrícola).

- e) *Escuela*. Si hay escuela(s) en el pueblo, de qué nivel (jardín de niños, primaria, secundaria, preparatoria, técnica, etc.); si no las hay, a donde van los jóvenes y niños a estudiar.
- f) *Negocios*. El número de negocios y servicios que hay en el pueblo (misceláneas, venta de alimentos para la gente o para los animales, venta de insumos agrícolas, materiales de construcción, carnicerías, pollerías, etc.).
- g) *Mediciones locales*. Equivalencias de las medidas locales, por ejemplo, el equivalente en kilos de un costal.
- h) *Transporte. Negocios de transportistas*. Número total de maquinaria agrícola en la comunidad.
- i) *Otros datos*. Otros datos generales, por ejemplo, población total (sí existe un censo); hectáreas totales destinadas por cultivo; Si hay caja de ahorro y en donde se localiza y de cooperativas; Existencia de agencias gubernamentales (en el pueblo o cerca de él, sí es que sus habitantes hacen uso de sus servicios), como silo de CONASUPO, LICONSA, etc.

En general, es recomendable la realización de visitas previas al levantamiento para conocer algunas de las particularidades de la localidad en estudio que son necesarias conocer de acuerdo con los objetivos principales del estudio.

La matriz de contabilidad social para pueblos (MCSP)

La MCSP está diseñada para identificar las interconexiones complejas entre la producción, las instituciones (incluidos los hogares) y el mundo exterior de un sistema económico. La MCSP es el punto de partida para hacer análisis sobre la economía de una población en su conjunto. La MCSP proporciona el marco para representar la estructura de la economía de un pueblo y la base de datos para los modelos multisectoriales, ya sea de multiplicadores o de equilibrio general.

La MCSP sintetiza e ilustra con precisión los flujos de insumos, productos e ingresos entre los sectores productores de comida y el resto de los sectores productivos del pueblo, los flujos de ingreso entre las actividades productivas y los hogares, el gasto de los ingresos de los hogares en consumo o en inversión y el intercambio de productos y factores de producción entre el pueblo y el “resto del mundo”.

Stone (1959) desarrolló la MCS general como una forma de relación entre las cuentas nacionales de producción y consumo con el análisis de insumo-producto. Los modelos o matrices de insumo-producto o de Leontief³ ofrecen el conoci-

³ Leontief, W. 1966, *Input-Output Economics*, Oxford University Press, Londres, Inglaterra.

miento del estado entre las vinculaciones y los sectores productivos de un país, región o pueblo. La MCS es una extensión de los modelos de Leontieff, en las cuales se incluyen los ingresos y los gastos de los hogares.

Al igual que a nivel nacional, la MCSP de una población rural es una forma de contabilidad de dos entradas. Presenta entradas contables en las cuentas de ingreso, producción e insumo-producto como entradas de crédito y débito en hojas de balance de ingreso de las instituciones y las actividades. Por convención, las entradas por fila en una MCS representan los ingresos de las cuentas y las columnas los egresos. Las actividades pueden ser la producción agrícola, ganadera y no agropecuaria (o cualquier desagregación de éstas u otra actividad como la recolección de leña). Las instituciones capturadas en las MCS incluyen por lo general distintos grupos de hogares, al gobierno y al resto del mundo.

En los modelos multisectoriales las instituciones son categorías de actores económicos. Se supone que todos los miembros de una categoría de actores interactúan de manera similar con las otras categorías de actores y actividades del pueblo. En una MCS se hacen agregaciones de hogares, el criterio para sumarlos puede ser por tipo o nivel de ingreso o acceso a recursos⁴. En cuanto al gobierno y al resto del mundo, la situación es la inversa pues conviene desagregar a estas instituciones. En cuanto al gobierno, podríamos distinguir los programas de SEMARNAT respecto al resto de las cuentas del gobierno y, como mencionamos, conviene dividir al resto del mundo en resto de la región, resto de México y resto del mundo.

En general las entradas en una MCSP incluyen:

- Las demandas de insumos intermedios por los sectores productivos (es decir la matriz de insumo-producto).
- El ingreso (o valor agregado) pagado por los sectores productivos al trabajo (que puede desagregarse en calificado y no calificado, masculino y femenino, alfabeto y analfabeto, indígena y mestizo, etc.) a la tierra (de riego o de temporal y en valles o en pendientes) y al capital.
- La distribución del ingreso factorial (trabajo, tierra y capital) a los distintos grupos de hogares.
- La distribución de los gastos de los grupos de hogares entre ahorro (en capital físico y humano) y consumo de los bienes y servicios producidos localmente y en el exterior (o importaciones).
- La cuenta del Gobierno recibe ingresos (por ejemplo, vía impuestos) de las actividades productivas y de los hogares. Redirige este ingreso al sistema

⁴ Para homogeneizar las MCSP de las comunidades estudiadas deberán definirse las agrupaciones, una vez que se conozca la estructura socioeconómica de las poblaciones, de la propiedad y de sus recursos naturales.

(por la compra de bienes y servicios locales o mediante transferencias a las actividades u hogares); o lo ahorra o lo usa en transferencias al resto de México o del Mundo (lo último para pagarle a los extranjeros por la compra de bienes y servicios producidos en el exterior o para el pago de la deuda externa).

- El producto total de cada actividad debe ser asignado a algún uso dentro o fuera del pueblo (como insumo para cubrir la demanda intermedia de actividades, para el consumo o demanda final, para la inversión, para cubrir la demanda del gobierno o para la exportación).
- Los ingresos (brutos) totales de cada actividad deben ser asignados a alguna entidad dentro o fuera del sistema o pueblo (para la compra de insumos producidos por otras actividades, para los pagos al trabajo o capital, para las importaciones, para el pago de impuestos y para el ahorro).

Una característica fundamental de una MCSP –que se deriva del sistema de contabilidad de doble entrada– es el requisito de igualdad entre la suma de ingresos (total por fila) y la suma de gastos (total por columna) para cada cuenta del sistema. Las cuentas de una MCSP en las que se asignan los ingresos y gastos son las mismas por el lado de los ingresos y de los gastos, es decir, la MCSP es una matriz cuadrada.

La relevancia de una MCSP se debe a que incorpora las características de un sistema económico completo y de las relaciones entre sus componentes. Además es muy flexible, por lo que en ella pueden incorporarse distintos arreglos institucionales y estructuras económicas. Por último, una MCSP proporciona un marco contable para estudiar distintos temas en materia de planificación y de políticas gubernamentales.

Una MCSP de un pueblo es muy similar a una MCS nacional. Sin embargo, hay dos grandes diferencias entre ellas.

- a) En una MCSP de un pueblo, subcuentas específicas de las instituciones exógenas (gobierno y resto del mundo) no tienen necesariamente que estar balanceadas, mientras que en una MCS nacional estas cuentas siempre tienen que balancearse.

Por ejemplo, un gobierno regional o nacional puede apropiarse de parte del excedente producido en el pueblo o, por el contrario, ser un subsidiador neto del pueblo (es decir, en el primer caso lo que el gobierno obtiene del pueblo es mayor a lo que le aporta al pueblo vía transferencias, etc., mientras que lo opuesto sucede en el segundo caso). En contraste, en una MCSP nacional los ingresos del gobierno siempre se igualan a los egresos.

Otro ejemplo son las remesas que envían los emigrantes a los EUA. a los hogares del pueblo. En este caso las remesas no necesariamente tienen que gastarse en la compra de bienes y servicios extranjeros o en el pago de deuda contraída con estadounidenses (lo cual si es necesario en una MCS nacional). Las remesas pueden usarse para compra de bienes y servicios locales o producidos en el resto de México.

En términos metodológicos, éstos desbalances pueden resolverse mediante el uso de entradas en la MCSP que representen pagos entre las cuentas exógenas o a partir de cuentas agregadas (por ejemplo, combinando algunas cuentas exógenas, cuya suma de transacciones con el pueblo deben estar balanceadas).

- a) La segunda diferencia entre una MCS de un pueblo y una nacional es que en la segunda todas las transacciones están monetizadas, mientras que muchas transacciones en el medio rural no lo están. Son los casos de la producción para el consumo propio; del uso de trabajo familiar o intercambio de trabajo; de los mercados de trabajo y de insumos interconectados; o del acceso a recursos comunitarios. Algunos ejemplos de lo anterior son la mediería o cuando algún miembro o miembros de un hogar trabajan en alguna actividad de otro hogar bajo la condición de que el segundo hogar haga lo propio en otro período, o el uso de tierras comunes para el pastoreo.

La elaboración de MCSP exige la valoración económica de estas transacciones, para lo cual hay que asignar un valor al registro en la MCSP de las transacciones no monetarias de un pueblo. Un procedimiento de valuación del trabajo familiar es, por ejemplo, asignarle el salario local al dato sobre las horas que los miembros le dedican en un año a este tipo de trabajo.

Una matriz de contabilidad social de una comunidad rural

El Cuadro 2 es un ejemplo de una MCSP, en él, las filas representan los ingresos de: 1) las distintas actividades productivas del pueblo; 2) los factores de producción del pueblo; 3) las instituciones; 4 y 5) de las cuentas de capital y 6) del resto del mundo. Las columnas contienen los gastos de estas mismas cuentas. La consistencia de la MCSP exige que los totales de estas filas y columnas se igualen.

La porción noroeste de la MCS contiene las cuentas de actividades del pueblo, es decir, la submatriz de insumo-producto A. Esta submatriz puede estar compuesta de tantas actividades como se desee, siempre y cuando agoten todas las actividades del pueblo. Los elementos de las filas de la submatriz de insumo-

producto recogen las ventas del producto del sector en la fila a otros sectores o a sí mismo (ubicados en las columnas de la submatriz). Por ello a tales entradas se les llama efectos o vinculaciones hacia delante (*forward linkages*). Los elementos de las columnas de la submatriz representan los efectos hacia atrás (*backward linkages*), que son las compras de insumos de un sector (columna) a otros sectores o a sí mismo (fila). En general, entre más grandes los elementos en la fila y columna de un sector, mayor el potencial del sector en cuestión de generar efectos hacia adelante y hacia atrás. El caso extremo es cuando los elementos son cero, que corresponde a una economía de enclave, en donde no hay efecto alguno.

Los multiplicadores calculados a partir de matrices de insumo-producto miden el efecto multiplicativo de cambios en la demanda final de productos sectoriales, cuando el sector de hogares, así como la inversión, el Gobierno y el resto del mundo se tratan como agentes exógenos al sistema. Las figuras 1 y 2 proveen dos ejemplos.

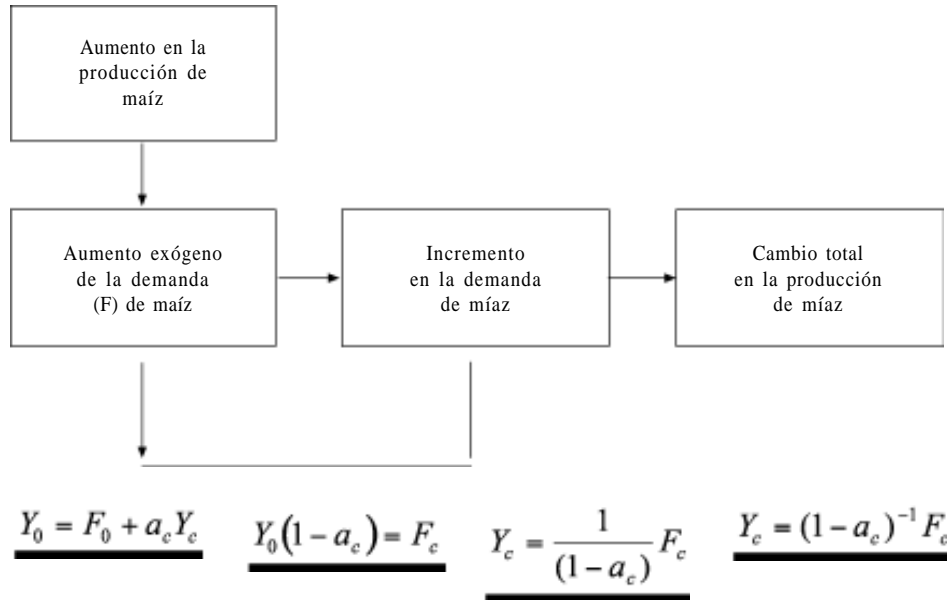
Las actividades productivas del pueblo proporcionan ingresos al trabajo, a la tierra y al capital. La intersección entre las columnas de actividades con las filas de factores (F) muestra la distribución entre los factores del valor agregado producido en el pueblo.

Cuadro 2

		GASTOS						
		1	2	3	4	5	6	7
INGRESOS	ACTIVIDADES FISICO	FACTORES HUMANO	INSTITUCIONES MUNDO	CAPITAL	CAPITAL	RESTO	TOTAL	
1. ACTIVIDADES a. Milpa b. Solares c. Ganadería d. Henequén e. Comercio f. Actividades no-agrícolas	A (Cuadro de insumo-producto del pueblo)		C, G (consumo de los hogares y del Gobierno)	I	HKI (Inversión en Capital Humano)	X	Ventas Totales	
2. FACTORES a. Capital b. Trabajo Familiar asalariado c. Tierra	F (Valor Agregado en la producción)						Valor Agregado Total de los Factores de producción	
3. INSTITUCIONES Hogares: a. Extrema pobreza b. Moderada pobreza c. No-pobres Gobierno	AT (Impuestos)	D. (Pagos a los hogares por servicios de trabajo, capital y tierra usados en la Producción)	T, HT. (Pago a los hogares por servicios laborales de los migrantes; transferencias del Gobierno)			R (Remesas de migrantes)	Remesas de migrantes Ingreso de los hogares Ingresos del Gobierno	
4. CAPITAL FISICO CAPITAL NATURAL			S. (Ahorro: hogares y Gdo en bienes físicos y naturales.				Ahorro total	
5. CAPITAL HUMANO			HKS. (Ahorro de los hogares en capital humano)				Ahorro total en capital humano	
6. RESTO DEL MUNDO Resto de la región Resto de México	AM (Importaciones)						Importaciones del resto del mundo	
7. TOTAL	Pagos Totales	Pagos totales al capital y trabajo	Gastos totales de las Instituciones	Inversión total en capital físico	Inversión total en capital humano	Exportaciones	Totales Ingreso/Gasto	

Esquema de una Matriz de Contabilidad Social

Figura 1



En donde Y_c es el producto (maíz), a_c el coeficiente técnico y F_c la demanda final de maíz

El Multiplicador de una economía tipo Robison-Crusoe (Un solo bien: maíz)

Los pagos al capital (o al valor agregado por el capital) incluyen la renta de yuntas, tractores, etc. También contienen la imputación al rendimiento del capital, cuando no hay pagos explícitos o cuando existen mercados interconectados. Los pagos a la tierra están formados por las rentas que se pagan a sus dueños y, al igual que el capital, incluyen imputaciones por su uso cuando no hay pagos explícitos o cuando hay mercados interconectados.

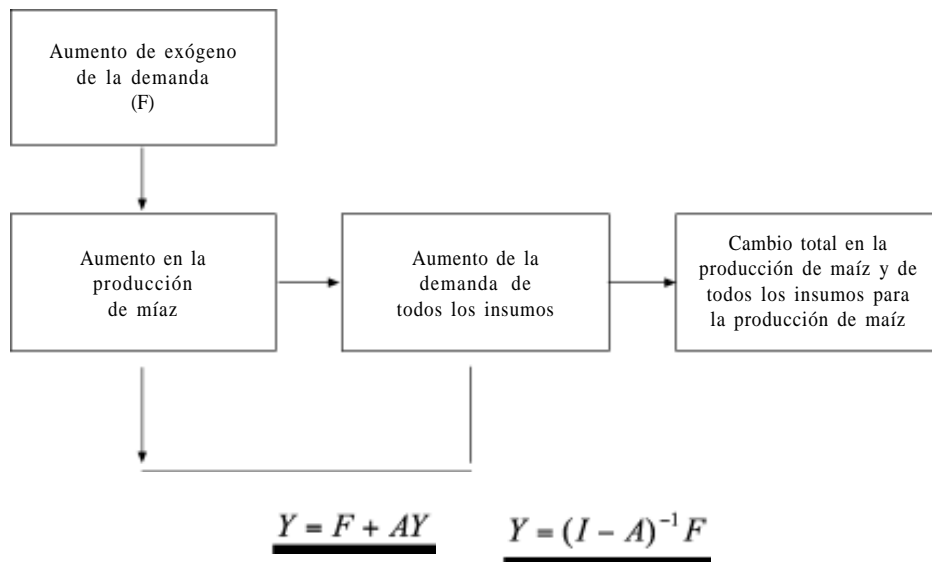
Las cuentas de valor agregado del trabajo incluyen los pagos de salarios y pagos implícitos al trabajo familiar. El trabajo familiar puede valuarse a partir de los salarios vigentes o como la diferencia entre el valor de la producción del sector en cuestión y los costos explícitos e implícitos (en las cuentas nacionales convencionales a lo último se le llama el superávit bruto de explotación).

La suma del valor agregado de los factores es el valor bruto del producto del pueblo (VBP).

Las importaciones de insumos (modernos) para las actividades del pueblo están contenidas en el cruce entre la(s) columna(s) de actividades y la fila Resto del Mundo.

El valor agregado del pueblo se distribuye entre las instituciones (los hogares o las cuentas compuestas). La intersección entre las columnas de factores y las filas de instituciones sintetiza la distribución del valor agregado del pueblo (D). En una economía cerrada esta submatriz sintetizaría la distribución del ingreso del pueblo entre las instituciones. En contraste, en una economía rural abierta, la producción local de valor agregado se suple con el ingreso proveniente del resto del mundo (por ejemplo, con las remesas de los migrantes (R) o con las transferencias del gobierno local, estatal o federal (T)).

Figura 2



En donde Y es un vector de productos, F uno de demanda final y A es la matriz de coeficientes técnicos.

El multiplicador de la producción tipo Leontief

El ingreso total de las instituciones es la suma de lo recibido por ellas, asentado en las filas de las instituciones. Los ingresos de las instituciones se asignan y distribuyen entre el consumo (C), ahorro (S) e impuestos (HT). Los ahorros se asignan a la demanda de inversión (tanto la correspondiente al capital físico como al capital humano).

El ingreso del gobierno proveniente de los impuestos que le pagan las actividades (AT) y los hogares (T) pueden retornar al pueblo en la forma de demanda

gubernamental de bienes y servicios producidos en el pueblo (G), por sus transferencias (T, un impuesto directo “negativo”), por sus gastos en educación y salud o mediante subsidios a la producción (AT, un impuesto indirecto “negativo”). Si, por el contrario, el gobierno le extrae excedente al pueblo, esto se reflejaría en una entrada positiva en la celda del gobierno-resto del mundo (o país).

Es posible que el pueblo exporte alguna parte de su producto a los mercados regionales, nacionales o internacionales, al gobierno o a otras instituciones de mercados nacionales. Estas exportaciones forman lo que se llama el excedente comercial *marketed surplus*, que está contenido en la submatriz X.

Elaboración de una base de datos

Una vez realizadas las encuestas, se procede a la captura electrónica de los datos en una hoja electrónica –base de datos– con el fin de ordenarlos y clasificarlos en lo que será la MCS. Es importante aclarar que todos los datos se registran en una misma “hoja-electrónica”, si se observa el número de las filas de los cuadros donde se ilustran los ejemplos del vaciado o llenado van cambiando, no necesariamente tiene que ser en el mismo orden.

Se considera una “Encuesta Completa” cuando se contestaron todas las preguntas pertinentes a las características del hogar y para cada uno de sus miembros, así como realizar los cálculos correspondientes –dentro del mismo cuestionario–, un ejemplo de ello sería el consumo de alimentos o el trabajo desempeñado por cada uno de los miembros del hogar. Estos cálculos se refieren a: obtener todos los datos anuales, regresando a nuestro ejemplo sobre el consumo de alimentos y/o trabajo desempeñado -regional o local-, dado que estas preguntas se hicieron al consumo promedio por semana y/o al trabajo por semana, mes o año, y los datos son requeridos anualmente, lo que ameritará hacer el cálculo anual.

Para la captura electrónica de los datos de las encuestas en la hoja de cálculo se tomarán los siguientes ejemplos en el orden correspondiente.

Cuadro 3

	A	B	C	D
1	Variable/Encuesta	Encuesta 1	Encuesta 2 ...	Suma
2	EDAD			
3	Edad del jefe	45	38	
4	Menores de 15			
5	Masculino	1	0	
6	Femenino	0	2	

Formato para la captura de información, variable edad

Cuadro 4

	A	B	C	D
1	Variable/Encuesta	Encuesta 1	Encuesta 2 ...	Suma
10	EDAD			
11	Edad del jefe	6	9	
12	Menores de 15			
13	Masculino	0	0	
14	Femenino	1	0	

Formato para la captura de información, variable educación

La familia (información general). El registro para la Edad, Educación (grado escolar) y sexo.

A. Para capturar la edad del jefe de la familia y de los demás miembros del hogar se sugiere el siguiente intervalo “menores de 15 años masculino y femenino” (nota: se registra el número de miembros que caen dentro de este intervalo), “De 15 a 60 años, masculino y femenino y mayores de 60 años, –cabe aclarar que todo esto se sugiere con el fin de homogeneizar todas las bases de datos–, es importante observar que la información del jefe es capturada aparte en “edad del jefe”. En el cuadro anterior se supone que hay un miembro del hogar –Encuesta 1–, con edad menor a los 15 años y de sexo masculino. Y la edad del jefe –para el mismo caso–, de 45 años.

En cuanto a educación, se recomienda el siguiente intervalo: Primero, la educación del jefe –para ilustrar nuestro ejemplo (Cuadro 4) se supone que el jefe de familia de la “encuesta 1” terminó la primaria por lo que se registra “6”, que equivalen a los 6 años o grados de educación primaria. En segundo lugar –por sexo– masculinos con 0 años de educación, de 1 a 3 años, de 4 a 5 años, con 6 años, de 7 a 8 años, con 9 años, de 10 a 11 años, con 12 años y de 12 años en adelante. Finalmente con los mismos intervalos los miembros del hogar por sexo femenino.

B. Trabajo en EEUU y C. Trabajo en otras partes de México. En cuanto al registro de la “Experiencia en migración” se ilustra con el cuadro 5, –retomando nuestro ejemplo ficticio de la Encuesta 1–, suponemos que hay un miembro del hogar que migró a los Estados Unidos hace un par de años –Nota: los años se cuentan a partir del año de estudio hacia atrás, es decir, ¿Cuánto tiempo tiene viviendo allá?–, si para la encuesta se pidieron datos de 1997 y declararon que se fue hace un par de años y no ha vuelto, entonces tiene 2 años en “Experiencia de migración” y es un solo miembro del hogar encuestado, entonces:

Cuadro 5

	A	B	C	D
1	Variable/Encuesta	Encuesta 1	Encuesta 2 ...	Suma
20	Exp. En Migración			
21	Miembros del Hog.			
22	EEUUA años	2	0	
23	N½ de personas	1	0	
24	Méx. Años			

Formato para la captura de información, variable experiencia en migración

Cuadro 6

	A	B	C	D
1	Variable/Encuesta	Encuesta 1	Encuesta 2 ...	Suma
30	Remesas de EEUUA			
31	Dinero	5,720.0	0.0	
32	Especie	300.0	0.0	
33	Remesas de Méx.	0.0	0.0	
34	Dinero	0.0	0.0	

Formato para la captura de información, variable remesas

El registro para la “Experiencia en Migración” al resto de México se registra de igual forma: es decir, México años, N½ de personas. Y para los familiares que no pertenecen al hogar, que tienen su hogar aparte, un ejemplo de ello serían los hermanos (del jefe), primos, tíos etc. y su registro sería Familiares del Jefe: EEUU años, N½ de personas. México años y N½ de personas.

Para el registro de las remesas que envían los miembros y familiares del hogar que han migrado ya sea a los EEUU o al resto de México. Se registrará de la forma siguiente (Cuadro 6): en nuestro ejemplo suponemos que el miembro del hogar encuestado que migró a los EEUU –el que tiene 2 años allá–, envió una ayuda al hogar por \$715 Dólares y una muda de ropa, (ver “Encuesta Completa”), es importante aclarar que la base de datos se construye en valor (dinero y en pesos mexicanos), y las unidades físicas como el número de jornales trabajados se discutirá en su momento. Entonces se calculó \$715.0 Dls. por 8.0 Tipo de Cambio promedio de 1997 igual a \$5,720.0 pesos, y el valor de la muda de ropa \$300.0 pesos, (cálculo de la región en estudio o valor que le da el hogar encuestado ¿Cuanto considera que valdría aquí esta ayuda?). El mismo criterio se sigue para las remesas y ayudas provenientes del Resto de México.

D. Transferencias familiares en 1997. El mismo criterio se utilizará para la ayuda que recibe y otorgan los hogares encuestados, provenientes en la misma localidad –rubro local–, o del pueblo. Transferencias entre hogares, ésta puede

ser en “Dinero” o en “Especie”, un ejemplo de ellos serían las semillas como el maíz, el trigo, sorgo o frijol, según sea el caso, que son regaladas entre los hogares, por mencionar algunos.

E. Tenencia de la tierra. Para este ejemplo se registrará el número de hectáreas con las que cuenta el hogar o jefe de familia, así como el tipo de propiedad: ejidal o privada, de riego o temporal, etc.

F. Producción agrícola. Este apartado es el más detallado. Entre sus componentes se encuentran los siguientes:

- Actividad agricultura. Según las características productivas de la comunidad. Por ejemplo, en la Encuesta 1, supongamos que este hogar produce maíz; se tendrá que registrar en orden. Se registra el total de ha cultivadas –temporal y riego–. Posteriormente se calcula el valor de la producción –precio por cantidad–, las ventas de maíz, al exterior y en la localidad, un ejemplo de este último serían las ventas a un acopiador o al comercio local. Por ejemplo, En un hogar sembraron 3 ha, de las cuales obtuvo 4 toneladas de cada una, lo que sumó un total de 12 a un precio de \$600.0 pesos por tonelada lo que equivalió a un valor de la producción de \$7200. Declaró vender al exterior \$6000 y en el comercio local \$1000, los restantes \$200 los utilizó para el autoconsumo. Se podrá observar (Cuadro 7) que este hogar no utilizó maíz para regalar a otros familiares ni para consumo de animales, así como también almacenó maíz para el siguiente ciclo agrícola.

Se registrarán todos los gastos en los que incurrió el jefe de familia o productor durante su actividad agrícola. Por ejemplo, costo de la tierra (cantidad y origen), pago de tractor o trilladora, pago de peones (cuánto, son de la localidad o de fuera del pueblo, así como el registro de unidades físicas número de jornales u horas); pago de insumos (semillas, fertilizantes, herbicidas, etc.) cantidad, precio y origen; impuestos en la producción y otros gastos en los que haya incurrido, como pago por el riego, traslado de los insumos, etc. Cabe señalar que es necesaria la información aún y cuando hayan sido propios los insumos y los factores, como tierra, trabajo, capital e insumos. El mismo criterio se aplica a los otros cultivos agrícolas, como sorgo, frijol, trigo, etc.

- Producción de frutales. De una forma similar al caso anterior se hará el registro para la producción de frutales, aun y cuando estos sean recolectados por los miembros del hogar, esto también es considerado una actividad productiva por requerir de factores para su producción o recolección. Un ejemplo para ilustrar esto sería la producción de naranjas, el hogar 1 o Encuesta 1

tuvo 0.5 ha con aproximadamente 10 matas de naranja, de las cuales se obtuvo un total de 20 costales, y cada costal pesó alrededor de 30 kg (producción total anual), y el precio de mercado fue de \$2 pesos el kg, por lo que el valor de la producción fue de \$1200 pesos, de los cuales se destinaron \$1000 a la venta en el exterior, \$150 de autoconsumo y \$50 fueron regalados a otros familiares dentro de la misma comunidad (Cuadro 8).

En cuanto al pago de factores, se deberá de considerar el pago por el uso de factores de la producción, trabajo contratado y número de jornales empleados –si es que existió–, uso y valor del capital, valor de la tierra y la ganancia será considerados la retribución al trabajo familiar (Becerril *et al.*, 1996).

G. Animales que tenía usted al final del año pasado y H) Producto de origen animal. En esta sección se hará un registro contable para obtener el valor de la producción o el incremento en el hato ganadero, es decir, se le dará un valor a los animales nacidos, muertos, robados, los que fueron destinados para el consumo humano y los que fueron vendidos, así como los gastos en que incurrió la actividad; pago de factores, gastos en medicina y alimentos. En resumen el sistema contable es: Inventario inicial = inventario final + consumidos por la familia + las ventas - compras - nacidos en el año + los reportados muertos. Con esto se tendrá el valor de la producción o incremento en el hato ganadero más el valor de los productos de origen animal, como la leche, huevos, carne, etc.. La ganancia de esta actividad será considerada la retribución al trabajo familiar, por lo que al valor de la producción se le restarán los gastos en los que incurrió la actividad; medicinas, alimentos, trabajo contratado, alquiler de tierras para el pastoreo, etc.

Cuadro 7

	A	B	C	D
1	Variable/Encuesta	Encuesta 1	Encuesta 2 ...	Suma
40	Actividad Agrícola			
41	ha con riego	2.0	0.0	
42	ha de temporal	1.0	0.0	
43	Valor de la producción	7,200.0	0.0	
44	Ventas al exterior	6,000.0	0.0	
45	Ventas locales	1,000.0	0.0	
46	Autoconsumo	200.0	0.0	
47	Transferido a Familiares	0.0	0.0	
49	Consumo Animal	0.0	0.0	
50	Pago Factores	0.0	0.0	
51	Tractor	450.0	0.0	

Formato para la captura de información, variable actividad agrícola

H. Leña. y J) Caza. Ambas son consideradas actividades productivas, por lo que se registrará el valor de la producción, el destino, y si fue para el autoconsumo o la venta, los gastos en los que incurrió la actividad, así como el tiempo invertido en recolectar o producir leña y caza de animales silvestres, si contrataron peones y el origen de éstos. Es importante aclarar que aún cuando sea destinada al autoconsumo, a la producción se le dará un valor.

I. Producción no agropecuaria (“artesanías”). Se registra el valor de la producción, el destino (consumo o venta en el interior o exterior de la comunidad). Se tratará de forma similar, bajo un sistema contable, valor de la producción menos los gastos incurridos y la ganancia será considerada la retribución al trabajo familiar.

Cuadro 8

	A	B	C	D
1	Variable/Encuesta	Encuesta 1	Encuesta 2.	Suma
60	Producción. Frutales			
61	a ocupadas	0.5	0.0	
62	Valor de la producción	1,200.0	0.0	
63	Ventas locales	0.0	0.0	
64	Ventas al exterior	1,000.0	0.0	
65	Ventas locales	0.0	0.0	
66	Autoconsumo	150.0	0.0	
67	Transferido a familia	50.0	0.0	
68	Pago factores	0.0	0.0	

Formato para la captura de información, variable producción

J) Negocios o comercio. Es importante resaltar el destino y origen de la mercancía. Cabe mencionar que se pondrá un especial énfasis en las ventas de los comercios –destino de la mercancía–, para cotejar con las compras por parte de los hogares.

K) Trabajo local pagado a los miembros de la familia. Es importante resaltar que será de suma importancia el origen, como su nombre lo indica, se refiere al ingreso que es percibido dentro de la comunidad, como puede ser jornaleros –trabajadores que serán contratados por los productores de la localidad, y éstos a su vez contratarán jornaleros en la misma localidad–, secretarías, trabajadoras domésticas, empleados en los comercios y servicios de la comunidad. Es decir, por una parte estarán los comercios y servicios que declaren haber contratado empleados en su actividad, y por el otro estarán los hogares que declaren haber trabajado en los comercios y servicios de la comunidad, al igual que en el caso anterior será importante el origen del mercado laboral para cotejar en el balance de la MCSP.

L) Trabajo regional de los miembros de la familia. Se trata del ingreso que fue obtenido fuera de la comunidad, y para ello tiene que regresar a diario a la comunidad. Un ejemplo de ellos sería el salario de los jornaleros que trabajan en las tierras de otra comunidad, cercano al lugar de origen.

M) Otros ingresos y préstamos. Se registra el ingreso que fue prestado por una caja popular, bancos, crédito a la palabra, etc., así como el dinero que fue ahorrado el año pasado, dentro o fuera de la localidad.

N) Otros gastos en 1997. Se registran los gastos efectuados por los hogares, es importante resaltar los que fueron destinados fuera de la comunidad y los que fueron hechos dentro de ésta. Así como los gastos en educación, es importante resaltar los gastos hechos fuera de la localidad como el transporte, útiles, etc.

O) Gastos en vivienda y otros gastos para la casa. Esta es considerada una inversión por parte del hogar, en remodelar o construir vivienda. Será importante resaltar donde compró los materiales para construcción o remodelación.

P) Bienes que tenían y obtuvieron el año pasado. En este caso serán consideradas las compras que no son comunes –como compra de alimentos, pago de servicios, etc.– como la compra de un automóvil, herramienta agrícola, blancos, etc., es importante resaltar donde fueron adquiridos.

Q) Comida (compras normales en una semana). Se registra el consumo en alimentos por parte de los hogares, si son hechos dentro de la comunidad será importante capturar en que comercios locales fueron hechas las compras, como se discutió en el punto “L”, esto para cotejar lo declarado por los comercios contra el consumo hecho por los hogares.

3) “Clasificar y agregar las variables” finalmente resta explicar que la suma por variable se realiza por fila, es decir, se habrá observado que la columna “D” en nuestros ejemplos se refiere a la suma de los hogares, con éstas se obtiene el total de producción de maíz –por mencionar algún ejemplo–, de aquellos hogares encuestados que declararon haber producido maíz, con este dato se obtendrá la oferta total de maíz producido por la muestra –hogares encuestados–, y si queremos obtener el total de la oferta a nivel del pueblo tendremos que conocer previamente el total –universo–, de las hectáreas sembradas con maíz que pertenecen al pueblo. Así para cada caso en particular, por ejemplo, “Población total” en la comunidad en estudio: se tendrá que conocer previamente cuantos hogares hay en el pueblo y cuantos fueron encuestados en la muestra, con ello se obtendrá el total poblacional. Cabe señalar que a cada variable –renglón de la base de datos–, le corresponde un número total diferente de factor de expansión.

5) Construcción de la MCSP: Con la suma de estos datos –poblacionales–, se construye la Matriz de Contabilidad Social para Pueblos (MCSP), en síntesis, la “Base de Datos” es la que alimentará de información a la MCSP.

Modelos multisectoriales o modelos de multiplicadores

Para pasar del marco contable proporcionado por una MCSP a un modelo del pueblo en cuestión se necesitan hacer supuestos sobre el comportamiento de los agentes o actores y especificar las funciones de producción.

El supuesto más simple en los modelos de multiplicadores es que la respuesta de los actores ante cambios en el ingreso es estrictamente proporcional al nivel total de actividad en cada cuenta (es decir, a los totales por columna de la MCSP). En la teoría económica esto significa que, por el lado del gasto, los gastos marginales de las instituciones del pueblo son iguales a las participaciones medias derivadas de la MCSP. Por el lado de la producción, el supuesto implica que la tecnología se caracteriza por la existencia de coeficientes fijos de la matriz insumo-producto.

Los supuestos son restrictivos, pero necesarios para estimar multiplicadores de precios fijos basados en una MCS de un pueblo (que son similares a los multiplicadores Leontieff en el análisis de insumo-producto).⁵

La construcción de un modelo multisectorial de un pueblo también requiere especificar cuáles de las cuentas de la MCSP son endógenas y cuáles exógenas. Esto es muy importante para modelar los impactos de cambios sobre la economía de un pueblo, debido a que, en sentido estricto, el modelador sólo tiene la posibilidad de cambiar las variables exógenas y los parámetros del modelo. Las cuentas exógenas capturan las respuestas de los agentes económicos del pueblo ante cambios en las cuentas exógenas o en los parámetros.⁶

En el caso de modelos de pueblos, lo más lógico es que las cuentas exógenas sean el gobierno y el resto del mundo.⁷

Los modelos de multiplicadores basados en MCS de pueblos

Tal como lo afirmó Pyatt (1988), “Solamente existe una ley fundamental de la economía: para cada ingreso, hay un egreso o gasto correspondiente”. Una matriz

⁵ Un modelo de multiplicadores de este tipo puede también tomarse como uno en donde no hay precios. Con su ausencia, los supuestos sobre el comportamiento de los actores y el tipo de tecnología significan, respectivamente, que ante cambios en el ingreso no hay sustitución entre los bienes y servicios demandados, ni entre insumos y factores de producción.

⁶ Un ejemplo de cambio en un parámetro es el suponer que hay un desplazamiento de la función de producción agrícola debido a un deterioro en la calidad de la tierra.

⁷ Si el mercado de capitales del pueblo está totalmente integrado a los mercados de capital externos, esta cuenta también podría tomarse como exógena. Sin embargo, en la mayor parte de las poblaciones rurales del mundo en desarrollo, el mercado de capitales (si es que existe), es local. Esto significa que la inversión está limitada por el ahorro local, por lo que el mercado de capital debe tratarse como una cuenta endógena.

de contabilidad social, o MCS, es una manera sencilla de representar dicha ley. La MCS es una matriz cuadrada diseñada a proporcionar un registro de las transacciones utilizando una forma de contabilidad de entrada sencilla.

Podemos expresar el ingreso total recibido por las cuentas endógenas como Y_n que es:

$$Y_n = n + x \quad (1)$$

Los elementos de la matriz de cuentas endógenas, T_{nn} , pueden ser expresados como propensiones medias al gasto al dividir cada elemento por el total de la columna respectiva, así:

$$T_{nn} = A_n Y_n \quad (2)$$

Al introducir la matriz de propensiones medias A_n , podemos expresarlo así, $n = A_n Y_n$ o bien,

$$Y_n = A_n Y_n + x \quad (3)$$

Resolviendo para Y_n como una función de x , obtenemos

$$Y_n - A_n Y_n = x$$

$$Y_n (1 - A_n) = x$$

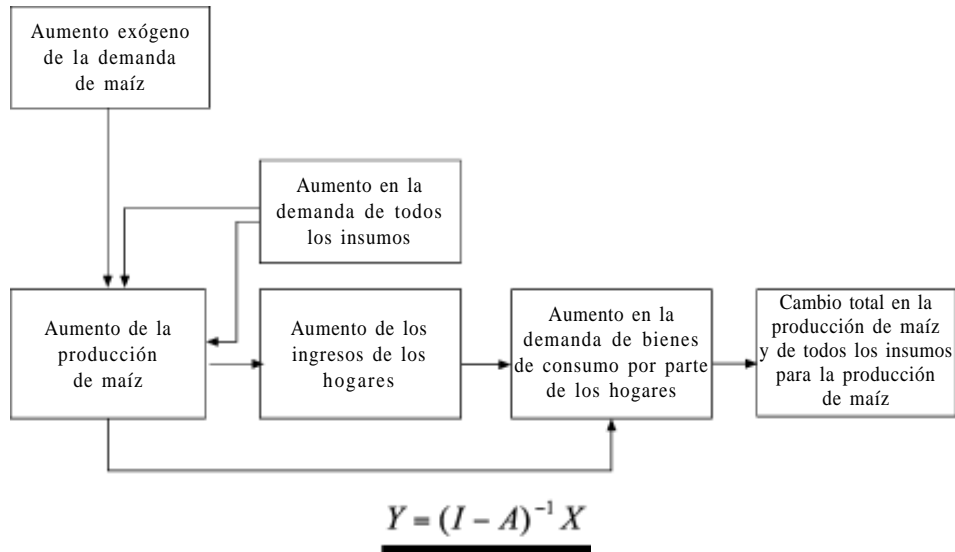
$$Y_n = (1 - A_n)^{-1} x$$

donde $(1 - A_n)^{-1}$ es una matriz de multiplicadores M_a o la matriz de contabilidad de multiplicadores, que puede expresarse de la siguiente manera:

$$Y_n = M_a X \quad (4)$$

La ecuación (4) muestra cómo los niveles de ingreso de las cuentas de factores de producción, las cuentas del sector de hogares y las cuentas de producción son determinados de manera endógena como una función de estas “inyecciones” exógenas. M_a es una matriz de contabilidad de multiplicadores. Cada elemento de esta matriz m_{ij} constituye el efecto directo e indirecto de un incremento de una unidad en la cuenta exógena j sobre la cuenta endógena i (Barceinas y Cervini: 1993). La figura 3 es una ilustración gráfica de la idea de un análisis de multiplicadores fijos.

Figura 3



Multiplicador tipo matriz de contabilidad social

En el contexto de una economía rural, supongamos que hay un aumento exógeno en la demanda de los productos exportados por el pueblo. El efecto inicial y directo de tal cambio se da en los componentes productivos de la MCS del pueblo, pues con él, el sector afectado, así como sus vinculaciones productivas, hacen que aumente el producto de las actividades productivas del pueblo. Un modelo Leontief captura este efecto. Sin embargo y en realidad, el incremento en la producción del pueblo aumenta el valor agregado que genera, con el consecuente aumento del ingreso de las instituciones. Parte de este ingreso se gasta en bienes y servicios producidos en el pueblo, lo cual provoca una nueva ronda de efectos dentro del pueblo.⁸

Así entonces, un multiplicador de un pueblo consiste en una serie de rondas de retroalimentaciones múltiples entre las subcuentas de la MCS. Cada inyección nueva de ingreso a la MCS impacta al subsistema local de cuentas para después transmitirse a otros subsistemas de la MCS.⁹

⁸ Otra parte del ingreso local aumentado se gasta en “importaciones”. Esto constituye una fuga para el pueblo, pues reduce la magnitud del impacto en el pueblo de la segunda ronda de efectos.

⁹ Derivaciones formales de la descomposición de los efectos para el caso de multiplicadores basados en MCS nacionales se encuentran en Pyatt y Round (1979) y en Stone (1956).

Limitaciones de los modelos de multiplicadores basados en MCS para pueblos

Los modelos multisectoriales basados en MCSP son superiores a los de insumo-producto y a otros modelos (como los basados en sistemas de gastos); sin embargo, cuentan con limitaciones surgidas de los supuestos que en ellos se hacen sobre los precios, sobre los recursos y la tecnología y sobre las propensiones al gasto de las instituciones.¹⁰

Los modelos basados en MCS en general pueden interpretarse como modelos de precio-fijo, es decir, los multiplicadores calculados suponen que cambios exógenos no afectan a los precios del pueblo.¹¹ Este supuesto es equivalente a proponer que el pueblo no está utilizando plenamente sus recursos, ni tiene restricciones tecnológicas. Alternativamente, al suponer coeficientes fijos en la oferta y al usar propensiones medias fijas al gasto, en éste tipo de modelos los precios relativos son irrelevantes: la existencia de proporciones fijas implica que no hay sustitución posible entre insumos, factores y bienes y servicios. Por el lado de la oferta esto significa que aún cuando cambiaran los precios relativos, no variará la mezcla de insumos para producir más del producto en cuestión ante un aumento en su demanda.

El caso opuesto es el de un modelo neoclásico puro de un pueblo que asume su integración completa con los mercados externos. Bajo este tipo de modelo, los precios de todas las transacciones (en bienes, servicios y factores) están determinados fuera del pueblo y, ante cambios en los precios, hay sustituibilidad entre insumos, factores y bienes y servicios. Un modelo neoclásico supone además que el pueblo usa plenamente sus recursos y que está completamente abierto a los mercados externos (es decir, que es una economía totalmente abierta). Así entonces, ante cualquier cambio exógeno de ingreso, el multiplicador siempre será unitario.

En la figura 4 se ilustran los impactos diferenciados entre un modelo keynesiano (multiplicadores fijos) y uno neoclásico en el precio y cantidad ante un desplazamiento en la función de demanda. El modelo neoclásico también tiene limitantes porque en general la economía de pueblos se caracteriza por estar en un contexto de mercados imperfectos.

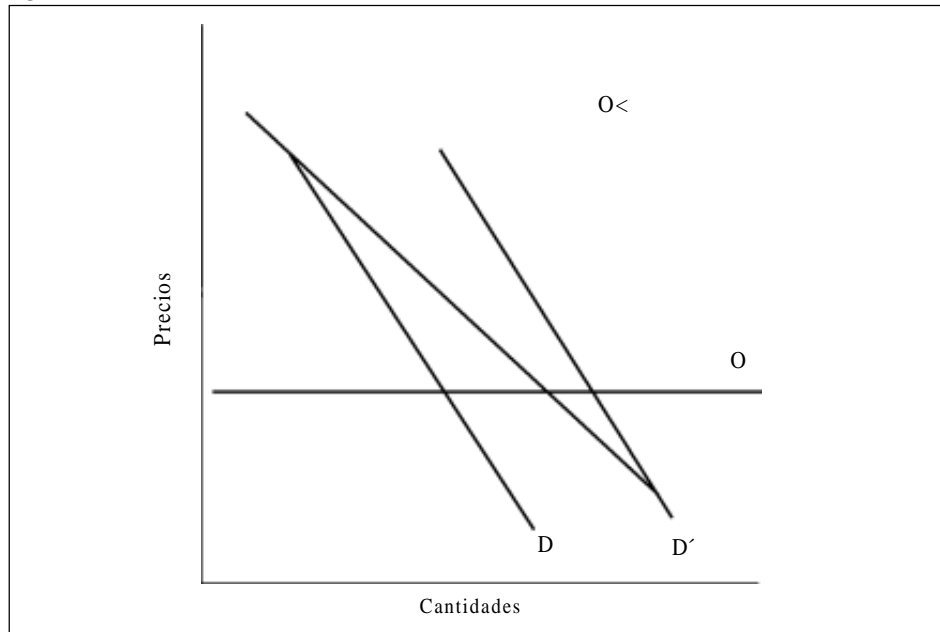
Debido a tales imperfecciones, los precios en el pueblo pueden diferir de los precios de mercado (determinados fuera del pueblo). En consecuencia, la cuestión crítica en las simulaciones que usan MCS de pueblos, es saber qué tanto pue-

¹⁰ Estos supuestos le dan a los modelos basados en MCS un carácter Keynesiano, “jalados” por la demanda. No obstante, algunas de sus limitantes son menos fuertes que las que tienen los modelos de multiplicadores nacionales.

¹¹ La validez de este supuesto depende de qué tan aislada esté la economía de un pueblo de los mercados externos.

dan variar los precios (del pueblo) ante cambios exógenos y si el cambio en los precios induce a modificaciones en la matriz de proporciones .

Figura 4



Modelos keynesiano y neoclásico en el precio y cantidad en la función de cantidades

En general, entre menores sean las restricciones en cuanto a recursos y tecnología en la producción de los pueblos, será más apropiado usar modelos de multiplicadores basados en MCS. Sin embargo (como vimos en la sección 4), existe la posibilidad de imponer en tales modelos “inelasticidades” por el lado de la oferta. Esto se hace incorporando restricciones en la producción en la forma de respuestas de oferta perfectamente “inelástica” en algunos sectores (Taylor y Adelman:1996).

La tercera y última limitante de los modelos de multiplicadores basados en MCS es el supuesto de que las propensiones medias y marginales al gasto son iguales. No obstante, tal limitación puede evitarse al incorporar participaciones marginales (y no medias) en el componente de participaciones al gasto de la MCS, previo al cálculo de M .¹²

¹² Las participaciones de ingreso marginales pueden obtenerse de estimaciones econométricas a partir de modelos de sistemas de gasto.

En un caso particular en el municipio de Hocabá en la Zona Henequenera de Yucatán, en el cual se levantó en 1998 con datos para 1997 una muestra aleatoria de 110 hogares. Estos datos permitieron la construcción de una MCSP de 19x19, que arrojó los siguientes datos.

Cuentas endógenas

Actividades: Hay 6 actividades productivas.

MILPA	Agricultura (milpa, frijol y otros).
SOLARES	Actividad de producción en el solar familiar.
GANAD	Ganadería y otra producción pecuaria.
COMERCIO	Comercios en el pueblo de Hocabá.
HENEQUEN	Actividad agrícola del henequén.
OANA	Otras actividades no-agrícolas.

Factores de producción: Hay 4 factores de producción.

TIERRA	Tierra bajo riego de temporal.
TRABAJO	Trabajo asalariado.
CAPITAL	Equipo, maquinaria, etc.
FAMILIA	Mano de obra familiar.

Instituciones: Hay 3 grupos de hogares.

HOGAR EXTREMA	Hogares en extrema pobreza.
HOGAR MODERAD	Hogares en pobreza moderada.
HOGAR NO POBRE	Resto de hogares del pueblo.

Cuentas de Ahorro: Hay 3 cuentas de ahorro.

AHORRO NATURAL	Inversiones en el bosque y recursos naturales.
AHORRO FISICO	Inversiones en semillas y productos para la producción.
AHORRO HUMANO	Inversiones en educación.

Cuentas exógenas

GOBIERNO	Gobierno.
REGIÓN	Resto del Estado de Yucatán.
RESTO DE MEXICO	Otros estados de México.
RESTO DEL MUNDO	Resto del Mundo.

Esta MCSP para Hocabá muestra las interrelaciones entre las cuentas endógenas y exógenas. Por ejemplo una inversión por parte del gobierno estatal como el programa de PROCAMPO significa un ingreso exógeno para los respectivos hogares, a su vez los hogares gastan este ingreso demandando productos locales (comercios, milpa, etc.) o productos de la región (REGIÓN) dependiendo de la vinculación del pueblo con el exterior. La demanda local se satisface por medio del uso de factores de producción locales que al ser pagados para incrementar la producción reciben a su vez un ingreso. Este ingreso vuelve a circular en la economía de las cuentas de los factores de producción a las cuentas de instituciones (hogares) creando una nueva demanda.

El análisis de multiplicadores es simplemente la suma total de esta circulación de la inyección inicial dentro de la economía local. De esta manera podemos conocer la magnitud de las relaciones entre las actividades endógenas y exógenas para evaluar los efectos externos en el pueblo bajo estudio. Los resultados al igual que la construcción de la MCSP obedece a los objetivos de la investigación, de manera que una vez establecido este, el análisis de multiplicadores es muy simple de llevar a cabo en una hoja de cálculo. Sin embargo los modelos neoclásicos si requieren de mas capacidad de computación por la cual requieren de programas como el General Algorithm Modelling System (GAMS)¹³. El lector puede por lo menos utilizar la MCSP y llevar al cabo el análisis de multiplicadores¹⁴. Los diferentes escenarios y el modelo neoclásico se dejan para un trabajo de mayor detalle.

Agradecimientos

Al Dr. Antonio Yunez-Naude y Javier Becerril del Colegio de México en la elaboración de la MCS para el municipio de Hocabá. A Javier Becerril y Mara Ruiz por la colaboración en el diseño de las encuestas. A Arisbe Mendoza, Lilian

¹³ Ver los trabajos de Taylor y Yunez-Naude (1995), Yunez-Naude (1995), Yunez-Naude *et.al.* (1994) como ejemplos de las diversas aplicaciones de estos modelos.

¹⁴ Ver los trabajos muy ilustrativos de Rodriguez (1995) y Rodriguez *et.al.*, (1995)

Albornoz y Rafael Ortiz Pech por levantar los datos en la comunidad. A María del Carmen Delgado Carranza por la redacción y correcciones al texto.

Referencias

- Barceinas F., y Cervini H. 1993. Análisis de los multiplicadores contables asociados a una matriz de contabilidad social para México. *Análisis Económico*, 11(22).
- Becerril J., Dyer G., Taylor J. E. y Yúnez-Naude A. 1996. *Elaboración de matrices de contabilidad social para poblaciones agropecuarias: El caso de El Chante, Jalisco*. CEE, Documento de Trabajo VI. El Colegio de México. México D.F. México.
- Calva J. 1995. Razones y principios de una política integral incluyente de los campesinos. In: Moreno E. *et al.* (Eds.). *El sistema de poscosecha de granos en el medio rural: problemática y propuestas*. UNAM, Programa Universitario de Alimentos. México D.F. México.
- Pyatt G. y Round J. 1979. Accounting and fixed price multipliers in a social accounting matrix framework. *Economic Journal*, 89: 850-873.
- Rodríguez M. 1995. Impactos de algunas reformas económicas en un pueblo de La Laguna: una aplicación del análisis de multiplicadores. Maestría en Economía. El Colegio de México. México D.F. México.
- Rodríguez M., Taylor J. E. y Yúnez-Naude A. 1995. Impactos de las reformas económicas en una población ejidal: una propuesta de análisis cuantitativo. In: Mhyre D. (Ed.). *Proceedings of the Ejido Research Project*, Universidad de California. San Diego C.A, EUA.
- Stone R. 1959. *Social Accounting and Economic Models*. Bowes & Bowes, London.
- Stone R. 1959. *Social Accounting and Economic Models*. Bowes & Bowes, London.
- Taylor J. E. y Adelman, I. 1996. *Village Economies: The design, estimation and use of village-wide economic models*. New York: Cambridge University Press.
- Taylor J. E. y Yúnez-Naude A. 1995. Impactos de las reformas económicas en el agro mexicano: un enfoque de equilibrio general aplicado a una población campesina. Documento de Trabajo. Centro de Estudios Económicos, El Colegio de México. México D.F. México.
- Yúnez-Naude A., Barceinas F. y Taylor E. 1994. Reflexiones sobre la biodiversidad genética de las semillas; problemas de análisis y el caso del maíz en México. In: Yúnez-Naude A. (Comp.). *Medio ambiente: Problemas y soluciones*. El Colegio de México. México D.F., México.
- Yúnez-Naude A. 1995. El sector agropecuario y los procesos de cambio estructural e integración: la experiencia de México. Seminario Internacional La Integración Regional y Hemisférica en Perspectiva. Banco Interamericano de Desarrollo, Departamento Nacional de Planeación y Ministerio de Comercio Exterior. Santa Fé de Bogotá, Colombia.

Yúnez-Naude A. y Taylor J. E. 1995. Impacts of policy reforms on two ejidal towns: A comparative study. Towards a Continental Agricultural Policy, Conferencia Plenaria del North American Agricultural Policy Research Consortium. Universidad de Stanford, California, EUA.

V. SENSORES REMOTOS Y MANEJO DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

En los últimos años, los avances tecnológicos han generado herramientas de gran valía en el inventario de los recursos naturales, entre ellos, los utilizados en la percepción remota y en los sistemas de información geográfica. Con dichas herramientas ha sido posible, entre otras cosas, la elaboración rápida de planes de ordenamiento ecológico del territorio (POET) que sirven para evaluar, normar y programar el uso de los recursos naturales, mediante la identificación de las unidades homogéneas, en términos geomorfológicos, climáticos, edáficos y de vegetación, para proponer acciones concretas de manejo de recursos naturales.

Los sistemas de información geográfica son otra herramienta que cada día es más utilizada en el ámbito del manejo de los recursos naturales, debido a su múltiples aplicaciones, entre las que se cuentan:

- 1) La capacidad de integración de información espacial y de otro tipo dentro de un solo sistema, esto es, ofrece una consistente estructura para el análisis de los datos geográficos;
- 2) La capacidad de manejar mapas y otro tipo de información espacial en forma digital;

La capacidad para realizar conexiones entre actividades basadas en la proximidad geográfica, etc.

16

INTRODUCCIÓN A LA PERCEPCIÓN REMOTA

José Antonio González Iturbe Ahumada*

Introducción

Una definición formal y comprehensiva de la percepción remota aplicada es la adquisición y medida de datos y/o información de alguna(s) propiedad(es) de un fenómeno, objeto o material por un instrumento que no se encuentra en contacto íntimo con los rasgos bajo observación. Las técnicas involucran una gran cantidad de ambientes: medición de campos de fuerza, radiación electromagnética, energía acústica utilizando cámaras, láser, receptores de radio, sistemas de radar, sonar, sensores térmicos, sismógrafos, etc.

Sin embargo, una definición más circunscrita al estudio del medio ambiente sería: la percepción remota es una tecnología basada en el muestreo de la energía electromagnética reflejada o emitida por los diferentes tipos de cobertura de la Tierra.

Sin lugar a dudas, uno de los instrumentos de percepción remota que nos resultan más familiares es la cámara fotográfica. Atrás de este instrumento existe toda una historia relacionada con el desarrollo científico y tecnológico que se dio en el siglo pasado. El descubrimiento de la fotosensibilidad de ciertos compuestos de plata ya era conocido en el siglo XVIII. Los científicos británicos T. Wedgwood y H. Davy fueron los primeros en registrar imágenes fotográficas que, sin embargo, no eran permanentes. Durante el siglo XIX, el francés J. N. Niépce registra las primeras fotografías y su paisano, el pintor J. M. Daguerre realiza las primeras fotografías similares a las que hoy en día conocemos basadas en compuestos de plata, logrando fijar la imagen. Por otro lado, en Inglaterra, W. H. F. Talbot desarrollaba los que hoy conocemos como negativo permitiendo la

* Unidad de Recursos Naturales, Centro de Investigaciones Científicas de Yucatán.

reproducción de las imágenes cuantas veces fuera necesario. Durante ese siglo, mucho fueron los avances que perfeccionaron la técnica. Incluso, a fines del mismo, los primeros experimentos con fotografía a color fueron realizados por el físico inglés J. C. Maxwell y, ya para fines del siglo, G. Eastman desarrollaba la primera película flexible, transparente susceptible a ser montada en rollo y por ende inventando el rollo de película precursor del que hoy usamos.

Durante el presente siglo, los desarrollos se han dado tanto en los instrumentos como en los medios para registrar las imágenes fotográficas y la descripción de los mismos escapan los objetivos de este escrito por lo que no profundizaremos en este aspecto. Baste resaltar algunas tendencias: el mejoramiento de los procesos químicos, el desarrollo de la cámara de 35 mm, el desarrollo de las diapositivas o transparencias y sobre todo, la difusión de su uso en muchas áreas, desde la informativa, la artística y la científica, entre otras.

En lo que concierne a la percepción remota aplicada a las ciencias de la Tierra, puede decirse que su historia comenzó poco después de la invención de la cámara fotográfica. Ya, hacia 1840 se tenían las primeras fotografías aéreas tomadas desde globos aerostáticos y para finales de siglo, se diseñaron cámaras para que palomas mensajeras las portaran y así registrasen imágenes desde cierta altura.

En el presente siglo, la fotografía aérea tuvo un fuerte desarrollo durante la Primera Guerra Mundial y mucho más aún durante la Segunda Guerra Mundial, por razones obvias. El uso de cámaras en el espacio exterior, comenzó con el Sputnik en 1957. Los primeros cosmonautas y astronautas llevaban consigo cámaras fotográficas. Para la década de los 60 aparecen los primeros sensores montados en satélites meteorológicos.

Hacia 1970 se lanza el Skylab, el primer laboratorio espacial concebido como un sistema que permitiría tomar información de una manera programada. En esa misma década se lanza el satélite Landsat dedicado exclusivamente a monitorear al planeta con la finalidad de realizar cartografía sobre los recursos naturales.

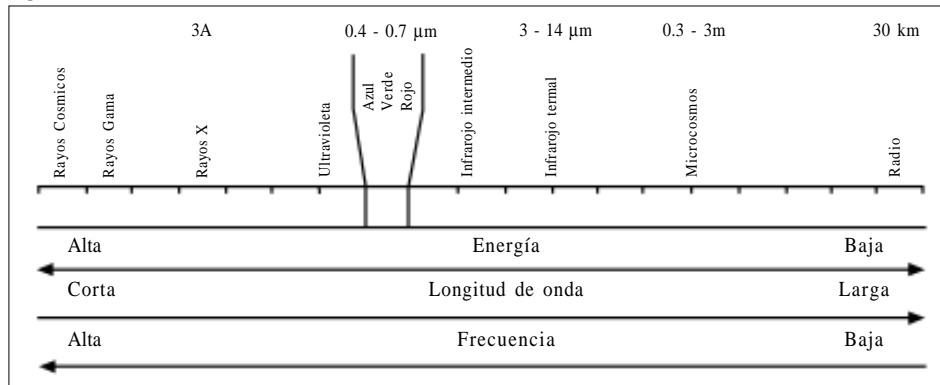
En la década de los 80 una gran familia de satélites aparecieron en escena. Satélites con sistemas de radar (Seasat, SIR-A), con barredores multispectrales (AVHRR), etc.

El espectro electromagnético

Para tener una comprensión cabal de la percepción remota es necesario conocer la forma en que la radiación interacciona con la superficie de la Tierra. La principal fuente de energía del planeta proviene del sol. Esta energía, de la cual la luz visible forma parte y nos resulta más familiar, es la radiación electromagnética.

La energía puede ser transferida de un punto a otro de tres maneras posibles: conducción, convección o radiación. Esta última es de especial interés en percepción remota. La energía radiada se comporta básicamente acorde con la teoría ondulatoria de la luz: es un continuo de ondas que se caracterizan por su tamaño (longitud de onda, λ , que se mide en micrómetros, μm) y frecuencia (n , que se mide en hertz, Hz), el número de ondas por unidad de tiempo. Ambas propiedades se encuentran relacionadas, la longitud de onda es la distancia entre cresta y cresta de la onda y la frecuencia es el número de ciclos, mientras más pequeña es la longitud de onda más alta es la frecuencia. El espectro electromagnético abarca longitudes de onda que van desde las muy cortas, del orden de 3 \AA ($1 \text{ \AA} = 10^{-7} \text{ mm}$), los rayos X, hasta los 30 km ($1 \text{ km} = 10^3 \text{ m}$), ondas de radio (Figura 1). Las longitudes de onda de importancia para la percepción remota son aquellas ubicadas en el intervalo de la luz visible ($0.39 \mu\text{m} - 0.78 \mu\text{m}$, $1 \mu\text{m} = 10^{-3} \mu\text{m}$), el infrarrojo cercano ($0.7-0.9 \mu\text{m}$), infrarrojo térmico ($3-14 \mu\text{m}$) y la radiación en microondas (arriba de $15 \mu\text{m}$). En el cuadro 1 se muestra un resumen de las diversas regiones del espectro electromagnético y sus propiedades.

Figura 1



Regiones del Espectro electromagnético

La radiación electromagnética que llega a un objeto, puede ser reflejada, absorbida o transmitida. Si la proporción del flujo radiante que es reflejado, absorbido o transmitido es muy diferente para los distintos rasgos de la superficie terrestre, entonces es posible identificar objetos de acuerdo a sus propiedades espectrales. La cantidad de energía que refleja, transmite o absorbe cada objeto es diferente para cada longitud de onda. Este es el sustento teórico básico para la percepción remota. Y esto que parece muy sofisticado, es algo que cotidianamente aplicamos cuando observamos cualquier objeto: vemos una hoja verde por el

hecho de que tiene una alta reflectancia en la longitud de onda que corresponde al verde, un papel blanco posee una alta reflectancia en todas las longitudes de onda, etc. Sin embargo, el que un sensor remoto (cámara fotográfica, radiómetro, etc.) pueda o no detectar las diferencias espectrales de un objeto con respecto a otro depende de 4 factores determinantes: 1) la resolución radiométrica del sensor; 2) la cantidad de dispersión atmosférica; 3) lo irregular de la superficie del objeto y 4) las variabilidad espectral de los objetos en la escena en cuestión.

- La resolución radiométrica varía de un sensor a otro. Por ejemplo, el sensor Thematic Mapper (TM) puede captar hasta 256 niveles de radiación, mientras que el sensor llamado Multiespectral Scanner (MSS) detecta sólo 64 niveles de radiación, ambos sensores montados en los satélites de la serie Landsat.
- La dispersión atmosférica aumenta la radiación reflejada que llega al sensor por lo que reduce el contraste entre los objetos.
- La rugosidad de la superficie es muy importante ya que es necesario que los objetos tengan una cierta rugosidad para interactuar con la radiación. Si la superficie no presenta rugosidad, la radiación es reflejada sin interacción, con lo cual se obtiene poca información. Por fortuna casi todos los objetos de la superficie terrestre presentan la suficiente rugosidad.

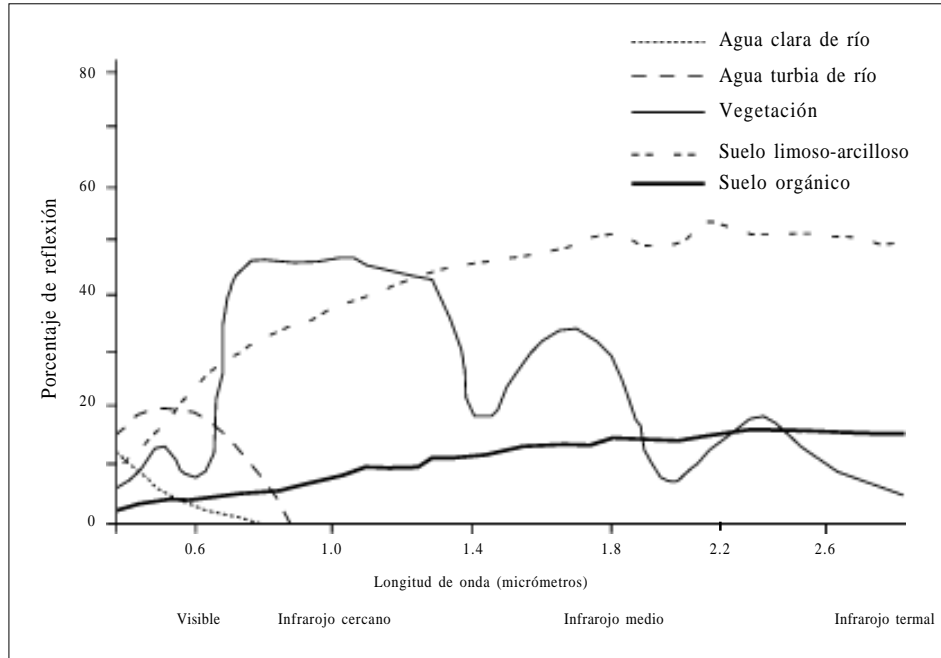
La influencia de la variabilidad espacial se debe a que la radiación reflejada registrada por cualquier sensor de un área particular posee también radiaciones de los sitios vecinos. Esto es de particular importancia en áreas urbanas donde existe una gran variabilidad espacial debido a la cobertura del suelo

En resumen, en percepción remota lo que se analiza es la radiación reflejada (o emitida) por los objetos de la superficie terrestre.

Interacciones entre la energía electromagnética y los cuerpos naturales

La forma en que los objetos de la superficie reflejan la radiación electromagnética constituye una de sus propiedades fundamentales y de interés para la percepción remota. En la Figura 2 se presentan los patrones característicos de reflectancia de distintos tipos de clases de cobertura del suelo.

Figura 2



Patrones característicos de reflectancia de distintas clases de cobertura del suelo

Cuadro 1

Rayos cósmicos y Gamma	Menos de 0.0003 mm. Esta radiación es completamente absorbida por la atmósfera superior y no es utilizada en percepción remota
Rayos X	De 0.0003 a 0.03 mm. Esta radiación es absorbida por los gases atmosféricos, por lo que no se puede utilizar en percepción remota
Ultravioleta (UV)	De 0.03 a 0.4 mm. Las radiaciones menores de 0.3 mm es completamente absorbida por el ozono de la atmósfera. La región comprendida entre 0.3 y 0.4 mm, denominado ultravioleta fotográfico, es usada en percepción remota. Esta radiación es detectable con películas y fotodetectores, aunque se ve afectado severamente por la dispersión atmosférica
Visible (VIS)	De 0.4 a 0.7 mm. Es detectable con película fotográfica y fotodetectores. Es el rango de acción de la fotografía convencional. Es la más utilizada en percepción remota, pues es la única región a la cual es sensible el ojo humano

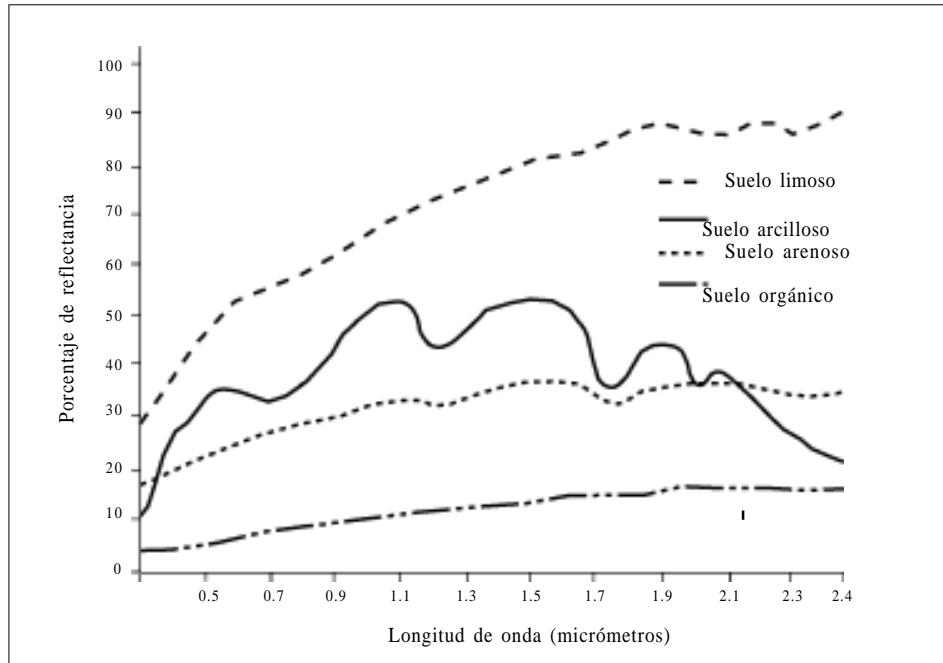
Cuadro 1 (continuación)

Infrarrojo cercano y medio	De 0.7 a 3 mm. Es energía reflejada y no proporciona información sobre la energía térmica del objeto. Dentro de este se encuentra límite de los sistemas fotográficos (0.9 mm). Muy importante en los estudios de vegetación
Infrarrojo termal	De 3 a 14 mm. Se divide en dos intervalos: de 3 a 5 y de 8 a 14 mm. Proporciona información sobre las propiedades térmicas de los objetos
Micro-ondas	De 0.3 a 300 cm. Estas radiaciones pueden penetrar nubes y niebla y son usadas en sensores activos de los cuales el más conocido es Radar
Longitudes de onda superiores	Se utilizan en transmisiones de radio y redes eléctricas de corriente alterna. No tienen aplicación actual en la percepción remota

Propiedades y características de las distintas regiones del espectro electromagnético

Con respecto a las clases de cobertura presentes en la superficie terrestre, se pueden generalizar en tres grandes grupos: suelo desnudo, agua y vegetación.

Figura 3



Patrones de reflectancia de distintos tipos de suelo

Suelo desnudo: la reflectancia del suelo está determinada por el contenido de humedad superficial, la composición mineral, el contenido de materia orgánica, la textura y la rugosidad (Figura 3).

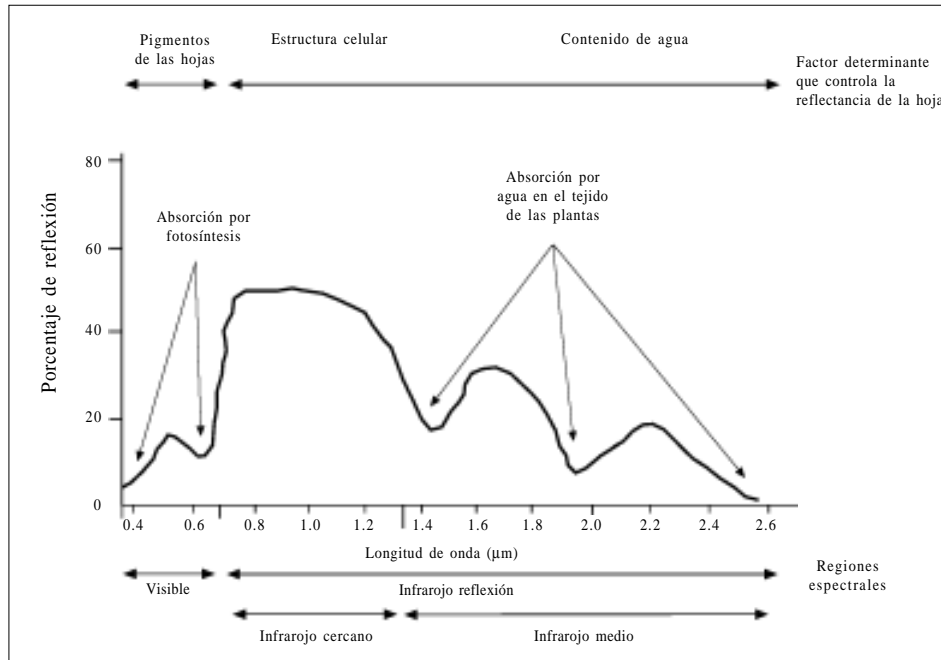
- Los suelos con más humedad absorben más radiación visible (VIS) y de manera particular, más radiación en el infrarrojo cercano (IRC) que los suelos secos.
- Los suelos con alto contenido de carbonato de calcio y los suelos arenosos con contenidos altos de cuarzo reflejan fuertemente en el intervalo del VIS y el IRC.
- Los suelos con alto contenido de hierro reflejan fuertemente en el VIS, en particular en la porción roja del espectro.
- Los suelos con textura más fina retienen más agua que los suelos de textura gruesa por lo que los primeros, debido al mayor contenido de agua, reflejarán menos que los suelos de textura gruesa. Sin embargo, los suelos de textura fina al desecarse pueden formar una capa impermeable que aumente la reflectancia.

Agua: las características espectrales varían de acuerdo a varios factores. El contenido de partículas o sedimentos, materia orgánica, material vegetal y profundidad son algunos de los factores más importantes que afectan su comportamiento espectral.

Vegetación: el comportamiento espectral de la vegetación depende fuertemente de las propiedades de las hojas y la estructura del dosel de la vegetación (número de capas de hojas) y la orientación de las hojas (Figura 4).

Al nivel de la hoja, la radiación que llega parte se refleja, parte se absorbe y parte se transmite. La proporción de la radiación que es reflejada, en las diferentes partes del espectro (patrón de reflectancia) depende de la pigmentación de la hoja, el grosor y la composición (estructura celular) y la cantidad de agua libre dentro del tejido foliar. Dado que estos parámetros varían de especie a especie y con el tiempo, el patrón espectral de las hojas presenta una gran variación. En la figura 4 se muestra el patrón de reflectancia generalizado de las hojas. Como se puede apreciar, el comportamiento espectral varía de acuerdo a la longitud de onda que se trate. En las porciones azul y roja del espectro, la radiación es fuertemente absorbida por los pigmentos foliares (en particular la clorofila) presentes en los cloroplastos para el proceso fotosintético. En la porción verde, la absorbancia es menor y la reflectancia mayor que en las longitudes de onda del azul y el rojo. La radiación en el infrarrojo es fuertemente reflejada por el aire presente en el parénquima esponjoso de las hojas: mientras más desarrollados estén estos tejidos con aire, mayor será la reflectancia. La senescencia de las hojas implica la desaparición de la clorofila y la aparición de otros pigmentos (que le dan colores

Figura 4



Patrón generalizado de la reflectancia de una hoja.

amarillentos o rojizos) y que causan un fuerte incremento de la reflectancia en el rojo. Otros factores alteran también la reflectancia de las hojas: las enfermedades y plagas afectan directamente a la clorofila (por lo tanto la tasa fotosintética) y desaparecen los espacios de aire; asimismo las esporas y las hifas cubren la superficie de las hojas con consecuencias en el comportamiento espectral.

Al nivel macro, el comportamiento espectral de una masa de vegetación (cultivo, vegetación natural o modificada) está determinado por la combinación de sus componentes: el tipo, la densidad, el grado de desarrollo, su estado fenológico, y la naturaleza del suelo entre las plantas, si está desnudo o si posee materia orgánica, etc.

Fotografía aérea

El principio por el cual funcionan las cámaras utilizadas para adquirir fotografías aéreas es exactamente el mismo con el cual funcionan todas las cámaras fotográficas. Claro está que existen equipos *ad hoc* de acuerdo a las necesidades.

En general se reconocen seis tipos de cámaras: cámaras para cartografía, cámaras de reconocimiento, cámaras de franja, cámaras panorámicas, cámaras con multilentes y el arreglo de multicámaras.

Las películas utilizadas en fotografía aérea son la blanco y negro y la de color. Ambos tipos de películas pueden ser modificados para captar las radiaciones sólo en el espectro visible o bien captar éste y las del infrarrojo cercano. De esta forma se puede tener cuatro tipos de película: blanco y negro, blanco y negro infrarrojo, color e infrarrojo falso color. Las películas blanco y negro son sensibles a una amplia gama de longitudes de onda, por lo que son llamados pancromáticas. Existen dos tipos de película pancromática, la de cartografía, con igual sensibilidad a todas las longitudes de onda, y la de reconocimiento que tiene una sensibilidad reducida a las longitudes de onda en el azul para reducir el efecto de difusión de la atmósfera. La mayoría de las fotografías aéreas que conocemos han sido tomadas con películas de cartografía, esto es, películas pancromáticas blanco y negro. Las razones son varias, entre ellas: tienen mayor resolución, son más baratas, son ideales para estudios topográficos.

El uso de la fotografía aérea en las ciencias de la Tierra abarca una amplia gama de disciplinas: investigaciones hidrológicas, análisis de terreno, agricultura (identificación de cultivos y enfermedades de los mismos), edafología (erosión), investigaciones forestales, urbanismo.

Las fotografías en blanco y negro en infrarrojo difieren de las blanco y negro convencionales sólo en la sensibilidad espectral, la cual se extiende más allá de la longitud de onda del rojo, en los alrededores de 1 mm. Los principales usos de este tipo de película radican en los estudios de vegetación y cultivos, en aplicaciones relacionadas a sus enfermedades, humedad del suelo, diferenciación de masas forestales, entre otros.

Las películas a color han sido diseñadas para simular la respuesta del ojo humano, el cual es altamente sensible a los colores azul, verde y rojo. Estos son los tres colores primarios con los cuales, a través de una mezcla apropiada de los mismos, se puede obtener el resto de los colores.

La fotografía aérea en color es mucho más cara que la fotografía blanco y negro por lo que su uso es más limitado. Sin embargo, su utilidad ha sido probada en estudios de geología, ecología, vegetación, hidrología, geomorfología, etc.

Al igual que sucede con la película blanco y negro infrarroja, la película falso color infrarroja, es sensible a la radiación infrarroja cercana. Las aplicaciones de este tipo de película abarcan una gran cantidad de campos: clasificación de áreas urbanas, monitoreo de la humedad del suelo, cartografía de inundaciones, censos de animales, cartografía de vegetación, áreas agrícolas.

Propiedades geométricas de las fotografías aéreas

Las principales características geométricas de las fotografías aéreas son el ángulo y la escala.

Angulo. En función del ángulo en el que son tomadas, las fotografías aéreas se clasifican en: verticales, oblicuas y muy oblicuas. En las verticales, la imagen es tomada con el eje de la cámara apuntando verticalmente hacia abajo, mientras que en las oblicuas el eje apunta de esa manera. Las fotografías verticales son las más comunes pues poseen una escala promedio similar, por lo que son fácilmente utilizadas para cartografía. Las fotografías oblicuas, por su parte, abarcan más superficie que las verticales y resultan más familiares a los intérpretes (Curran, 1995). Las fotografías verticales son tomadas en secuencias a lo largo de la línea de vuelo del avión, de tal forma que se superponen un mínimo de 60 %, lo cual permite ver las impresiones de manera estereoscópica. Hacia los lados, también se superponen (un 30%) las fotografías para asegurar que toda la superficie sea captada.

Escala. La escala de las fotografías (S) está determinada por la distancia focal de la cámara y la distancia de la lente de la cámara a la superficie. La distancia focal (f) es la distancia del centro de la lente de la cámara a la película. La distancia de la lente de la cámara a la superficie (H-h) es la altura de la lente sobre el nivel de mar (H) menos la altura de la superficie sobre el nivel del mar (h), cuando se trata de una superficie plana y con el eje de la cámara vertical. Estas variables se relacionan de la siguiente manera:

$$S = f / H-h$$

Así, si una fotografía fue tomada con una lente de f 150 mm, a una altitud de 2000 m de un terreno que está 500 msnm, la escala sería:

$$0.15\text{m} / 2000-500\text{m} = 1/10,000 \text{ ó } 1:10,000$$

Cuando no se conocen estas variables, la escala de la fotografía puede ser inferida vía mediciones; la distancia en el terreno (df) es medida entre dos puntos en una fotografía aérea y ésta es dividida entre la misma distancia en un mapa (dm): $S = df / dm$

Visión estereoscópica

Cuando las fotografías son tomadas con un grado de sobreposición pueden proveer una visión estereoscópica. La visión estereoscópica se logra gracias al efecto de paralaje. Este efecto es muy común a nuestras vidas: nuestros ojos registran objetos desde posiciones ligeramente diferentes y el cerebro usa el efecto de paralaje para darnos la sensación de profundidad. Nosotros podemos simular este efecto con las fotografías aéreas viendo un mismo objeto en dos fotografías adyacentes, con el ojo izquierdo la fotografía izquierda y con el ojo derecho la derecha. Esto se puede hacer a simple vista, pero requiere de entrenamiento por lo que se han desarrollado instrumentos (estereoscopios) que facilitan la visión. Existe una gran variedad de estos instrumentos, sin embargo los más comunes son: el estereoscopio de bolsillo, el estereoscopio de espejos y el estereoscopio de barrido (Figura 5).

Figura 5

Con la ayuda de un estereoscopio de bolsillo es posible observar el relieve en este par estereoscópico.

Mediciones con las fotografías aéreas

- *Mediciones de distancias.* La forma más simple es una regla construida por el interprete con divisiones negras y blancas para ser utilizadas en fotografías claras y oscuras. Claro está esto funciona bien en terrenos planos y sin relieve. Para terrenos montañosos esto sólo nos daría una idea aproximada de las distancias.
- *Mediciones de áreas.* Cuatro métodos son los más utilizados. La malla de puntos, el planímetro polar, la tableta digitalizadora y el procesador de imágenes análogas o digitales. La malla de puntos es un acetato transparente con una matriz de puntos; para medir la superficie de una región, simplemente se cuenta el número de cuadros que ocupa una región dada. Este método es impreciso y laborioso, la única ventaja es que es barato. El planímetro polar es un instrumento *ad hoc* para la medición de superficies; con práctica rinde resultados precisos y confiables además de que no es muy caro. La tableta digitalizadora es una forma cara pero precisa. Este instrumento que consiste en una superficie sensible donde se puede digitalizar la información de los bordes de las áreas de interés y transferirlos a una computadora. Los procesadores de imágenes pueden ser análogos o digitales. En el primer caso, las imágenes son videograbadas y desplegadas en un monitor que forma parte de un procesador que permite las mediciones. En el segundo caso, las imágenes son digitalizadas por medio de un “scanner” y procesadas en una computadora con el software adecuado.

Estos procedimientos sólo nos dan resultados aproximados pero al alcance de la mano. Existen métodos mucho más precisos utilizados por los fotogrametas que implican el uso de instrumentos sofisticados. Estos métodos fotogramétricos son los utilizados por las agencias o instituciones nacionales e internacionales para el desarrollo de cartas topográficas, temáticas, catastrales, etc., que necesitan una alta precisión pues entran en juego límites estatales, internacionales, tenencia de la tierra, etc. Dado que este texto es solo una introducción a la percepción remota, remitimos al lector a publicaciones especializadas en fotogrametría para ahondar en su conocimiento.

Fotointerpretación

La interpretación de las fotografías aéreas es definida como el acto de examinar imágenes fotográficas con el propósito de identificar objetos y juzgar su significancia

(Colwell, 1960 *sensu* Curran, 1995). En este proceso, el intérprete desarrolla al menos una de las siguientes tareas: detección, reconocimiento e identificación, análisis, deducción, clasificación, idealización y determinación de la precisión.

La detección implica seleccionar objetos directamente visibles y de nuestro interés. El reconocimiento e identificación involucra el nombrar los objetos. El análisis consiste en tratar de encontrar un arreglo u ordenamiento espacial de las áreas u objetos de interés. La deducción es un paso más profundo pues implica el uso del principio de convergencia de las evidencias para predecir la ocurrencia de ciertas relaciones. La clasificación es el arreglo de los objetos en un sistema ordenado y la idealización es el uso de líneas y trazos en las fotografías para limitar nuestras áreas y/u objetos de interés. La determinación de la precisión se da cuando seleccionamos puntos al azar y confrontamos en campo nuestra interpretación

De esta cadena de eventos, el reconocimiento y la identificación son los pasos que ligan todo el proceso. Siete características de las fotografías aéreas son de gran utilidad en este proceso: tono, textura, patrón, lugar, forma, sombras y tamaño (Figura 6).

Tono. Es la característica más importante. Representa el registro de la radiación que llega a la superficie de la Tierra y es registrada por la película fotográfica. Tonos claros representan áreas de alta reflectancia mientras que áreas con tonos oscuros representan áreas de baja reflectancia. La reflectancia de un objeto está determinada por las características de su composición: una roca calcárea aparece en tonos de gris claro, mientras que un suelo húmedo aparecerá en tonos gris oscuro.

Textura. Es la frecuencia de cambios tonales en una fotografía que surge cuando un gran número de rasgos son vistos al mismo tiempo. Depende de la escala.

Patrón. Es el arreglo espacial de los objetos.

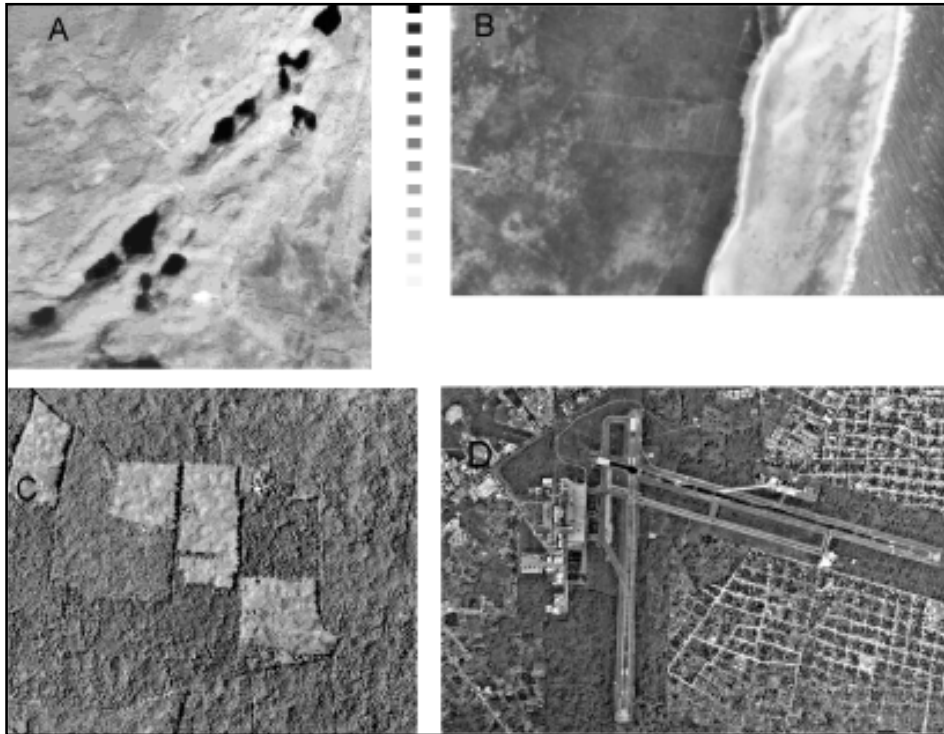
Lugar. Es el determinar la posición de un objeto con relación a otros objetos en la vecindad.

Forma. Es la determinación cualitativa de la configuración general de un objeto.

Sombras. Las sombras de los objetos son muy útiles en la fotointerpretación, por ejemplo para identificar fallas geológicas, orientación de las fotografías

Tamaño. Depende de la escala. El tamaño relativo de los objetos nos permite estimar las dimensiones de los mismos.

Figura 6



Características de las fotografías aéreas. A) Tono. Los distintos tonos indican distintas coberturas de acuerdo al comportamiento espectral de las mismas en la región del visible del espectro electromagnético. B) Textura. Distintas texturas indican diferentes clases de cobertura. En esta fotografía, las texturas finas corresponden a coberturas de herbáceas y al interior de la barrera arrecifal (centro de la foto). La textura gruesa corresponde a vegetación arbórea y a agua en movimiento (oleaje). C) Patrón. Los patrones en la cobertura pueden indicar particularidades del terreno o actividades antropogénicas. D) Forma. La forma de los objetos en las fotografías aéreas ayudan a definir e identificar a los mismos.

Imágenes de satélite

Sensores remotos

Existen muchos criterios para clasificar a los distintos tipos de sensores remotos. Los más frecuentemente empleados son los siguientes:

- a) *Banda del espectro electromagnético utilizada.*

De acuerdo a la región del espectro utilizada, los sensores se dividen en ultravioleta, del visible, del infrarrojo, de microondas, de frecuencia ultra alta (UHF), sensores de frecuencias muy altas (VHF).

b) Fuente emisora.

El criterio se basa en establecer si la fuente emisora de energía pertenece al sistema de percepción remota o si es independiente. De esta manera, los sensores se clasifican en pasivos (los que registran la energía emitida por otra fuente, generalmente el sol, y reflejada por los objetos) y activos (emiten energía en dirección al objeto y luego la detectan, como el radar).

c) Ubicación espacial de la fuente emisora y receptora.

Son sensores monestáticos cuando la fuente de emisión y recepción de energía ocupan la misma posición en el espacio (como el radar). Son biestáticos cuando la fuente de emisión tiene una posición diferente a la del receptor (fotografía aérea).

d) Información registrada.

De acuerdo a la información registrada, se clasifican en sensores fotográficos (cuando la información es registrada en una emulsión fotográfica al momento de ser recibida) y sensores no fotográficos (la información que recibe es proyectada sobre una pantalla o es registrada en forma gráfica o digital). Estos últimos, a su vez, pueden ser subdivididos en radiométricos (registran la intensidad de una determinada longitud de onda del espectro) y espectrómetros (cuando registran la intensidad de una banda del espectro).

e) Mecanismos utilizados para captar la información.

En función de los mecanismos para captar la información los sensores se dividen en:

- *Fotográficos.* Operan con cámaras y películas.
- *Electro-ópticos formadores de imagen.* Pueden ser de tres tipos: de formato, barredores no oscilantes y barredores mecánicos. Los de formato no necesitan hacer un barrido para formar la imagen (como los sistemas de TV). Los no oscilantes barren en una sola dirección, mientras que los mecánicos incluyen una gran variedad de sistemas de barrido.
- *Electro-ópticos no formadores de imagen.* No forman imagen a partir de la información captada, sino que produce curvas, grupos de números o números simples que caracterizan la energía electromagnética emitida desde, reflejada por, y/o transmitida a través de una superficie o región del espacio.

- De microondas. Pueden ser activos o pasivos. Los activos formadores de imagen son los radares de visión lateral (SLAR) que pueden ser de antena real o de antena sintética (SAR). Los no formadores de imagen se clasifican en dispersómetros y radiómetros de microondas los cuales son pasivos.

Plataformas utilizadas en Percepción Remota

Las plataformas utilizadas en Percepción remota cubren una amplia gama de sistemas :

- *Cestas colocadas a pocos metros sobre la superficie del terreno.* Se usan frecuentemente con radiómetros y/o cámaras para estudios de la reflectancia de los objetos terrestres.
- *Globos.* Fueron los precursores de la observación de la superficie terrestre en planos superiores. Actualmente se utilizan en proyectos de investigación y meteorología.
- *Aviones y helicópteros.* Son las plataformas ideales para la teledetección.
- *Cohetes.* Han sido poco utilizados como plataformas, y su importancia radica más en su capacidad de colocar plataformas en el espacio.
- *Satélites.* Son el tipo corriente de plataforma espacial y se han utilizado para transportar todo tipo de instrumentos, desde cámaras fotográficas convencionales hasta sofisticados sistemas electro-ópticos (Cuadro 2).

Los satélites en uso para el estudio de los recursos naturales operan o en órbitas heliocéntricas o en órbitas de sincronización terrestre (geosincrónicas).

Las órbitas heliocéntricas son de menor altitud y se utilizan preferencialmente para transportar sistemas formadores de imágenes. De acuerdo a su posición con respecto a la superficie de la Tierra, las órbitas pueden ser polares, ecuatoriales o libres. En las órbitas polares, el satélite órbita pasando por los polos; a cada paso, la Tierra se ha desplazado un determinado número de kilómetros, por lo tanto debe haber un balance entre el área cubierta por cada paso del satélite y el desplazamiento de la Tierra en su rotación sobre su propio eje para lograr un cubrimiento total según el programa, este cubrimiento se logra después de un lapso de varios días, así por ejemplo, en Landsat, esto ocurre cada 16 días. Las órbitas ecuatoriales han sido utilizadas por programas específicos, como el TERS (*Tropical Earth Resource Satellite*) y el Seasat (programa oceanográfico).

Las órbitas geoestacionarias son muy utilizadas en comunicaciones y meteorología. Los satélites, en estas órbitas, están colocados a 35,000 km y se despla-

zan a una velocidad similar a la de la Tierra, por tanto, se mantienen fijos en una franja determinada y tienen la ventaja que siempre observan un determinado punto del planeta y, debido a la distancia que se encuentra, abarcando una extensa zona. Su limitante para el estudio de recursos naturales, también debido a la distancia, es su baja resolución.

Figura 6

Viking 12	Satélite tripulado. Cámara fotográfica. Vistas sinópticas del SW de Estados Unidos
Mercury 8,9	A principios de los 60. Cámara fotográfica. 29 fotos. Visible. Estados Unidos
Gemini.	En los 60. Synoptic Terrain Photography (70 mm) ~ 1100 fotos, 100-130 m resolución. Visible. Estados Unidos
Apollo	En los 60. Los primeros datos multispectrales, cámaras 4:70 mm, Multispectral Terrain Photography (v, r, ir). Estados Unidos
Skylab	A principios de los 70. EREP (Earth Resources Experiment Package), S190A. Multiband Camera. Estados Unidos
Space Shuttle	En los 80. Radar, TV, Multispectral Scanner, Cámaras. Estados Unidos
Landsat (1-5)	1972. Multispectral Scanner (visible y térmico), Thematic Mapper (visible y térmico), Return Video Beacon (Video). Estados Unidos
SPOT 1 y 2	1986. HRVS (High resolution visible scanner). Pancromático, Multispectral (visible, infrarrojo de reflexión, térmico). Francia
JERS	Multispectral Scanner. Japón
SEASAT	En los 70. SAR (Synthetic aperture radar). Microondas. NASA (EU)
ERS	En los 80. SAR (Synthetic aperture radar). Microondas. Comunidad Europea
Radarsat	Canadá
TIROS/NOAA	En los 70. AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer). Meteorológico. Visible y térmico. Estados Unidos
Serie Nimbus 60-80	En los 80. CZCS (Coastal Zone Colour Scanner). Meteorológico. Visible y térmico
GOES	Meteorológico (visible, infrarrojo)
Meteosat	Comunidad Europea. Meteorológico, 3 bandas (v, ir, vapor agua, irm)
AVIRIS	250 bandas

Tipos de satélite dedicados al estudio de los recursos de la Tierra. Se presenta el tipo de sensor, las longitudes de onda que registra, la década en que fue lanzado y el país de procedencia

Satélites de uso más común

A nivel comercial, las imágenes de satélite más usadas son las de los satélites Landsat MSS (Multispectral Scanner), Landsat TM (Thematic Mapper) y SPOT (Satellite Probatoire de l'Observation de la Terre).

El satélite Landsat fue lanzado por primera vez en 1972, llevando consigo dos tipos de sensores, un barredor multispectral de cuatro bandas y tres sistemas de video (RBV, Return Beam Vidicon). Este satélite ha demostrado su gran utilidad debido a varias de sus características: disponibilidad de imágenes de todo el planeta, ausencia de restricciones políticas, de seguridad o de derechos de autor, bajo costo relativo, cobertura multispectral repetitiva y mínimas distorsiones.

A la fecha se han lanzado los Landsat 2, Landsat 3, Landsat 4, Landsat 5, Landsat 6 (que no funcionó) y recién en abril de 1999, Landsat 7, que a lo largo de más de 25 años han proporcionado un registro único de la superficie terrestre que representa una información invaluable. Desde la primera etapa, los Landsat llevaban ya un barredor multispectral, el Multispectral Scanner (MSS) y posteriormente se añadió otro barredor multispectral, el Thematic Mapper (Mapeador temático, TM). Las características de ambos se muestran en la el cuadro 2. El barredor multispectral (MSS) registra cuatro imágenes de cada escena, cada una con una cobertura de 185 por 185 km, con una resolución espacial de 79 m. Cada imagen registra la información en una longitud de onda: la banda 1, la información del verde (0.5-0.6 μm), la banda 2 del rojo (0.6-0.7 μm), las bandas 3 y 4 del infrarrojo (0.7-0.8 y 0.8-1 μm). El Mapeador Temático (TM) fue añadido desde el Landsat 4.

A diferencia del MSS, el cual detecta sólo 64, el TM registra 256 tonos de gris o niveles de radiación y registra siete imágenes en 7 bandas: la banda 1 del azul al verde (0.45-0.52 μm), la banda 2 el verde (0.52-0.6 μm), la banda 3 el rojo (0.63-0.69 μm), la banda 4 el infrarrojo cercano (0.76-0.9 μm), la banda 5 infrarrojo medio (1.55-1.75 μm), la banda 6 el infrarrojo térmico (10.4-112.5 μm) y la banda 7 el infrarrojo medio (2.08-2.35 μm).

El SPOT es el otro satélite que distribuye imágenes satelitales de forma comercial. Fue lanzado en 1986 y a la fecha es el SPOT 4 el que se encuentra en órbita. Los planes son lanzar el SPOT 5 en 2001. Este satélite porta un sensor multispectral llamado High Resolution Visible (HRV) que pueden funcionar en modo pancromático o multispectral. En el modo pancromático la resolución espacial es de 10 m, mientras que en el modo multispectral de 20 m. Otra característica de este sensor es su capacidad de obtener imágenes estereoscópicas. En la forma multispectral registra la información de tres bandas: la banda 1 el verde (0.5-0.59 μm), la banda 2 el rojo (0.62-0.68 μm) y la banda 3 el infrarrojo cercano

(0.79-0.89 μm). En el modo pancromático la longitud de onda que registra es de 0.51 a 0.73 μm . La imagen obtenida abarca una superficie de 60 por 60 km. El cuadro 3 muestra otras características en comparación con el Landsat y otros satélites.

A la fecha otros sistemas satelitales han sido puestos en órbita por otros países, tal es el caso de la India con su satélite IRS (Indian Remote Sensing), que comercializa sus productos vía los distribuidores de Landsat. Asimismo, el advenimiento del Internet, se ha creado un gran acceso a la información de tipo satelital, desde la adquisición de imágenes hasta software para procesarlas y desde altos costos a libre circulación.

Procesamiento de Imágenes

Una imagen de satélite puede verse, de la forma más simple, como una matriz numérica. Sin embargo, en realidad es una distribución espacial de la respuesta espectral de los elementos registrados en una escena. Cada elemento de la matriz numérica es conocido como pixel o celda. El conjunto de pixeles o celdas conforman las imágenes de los objetos. Como ya se mencionó, con respecto a la resolución espacial de los sistemas satelitales, el tamaño del píxel puede ser de 80 por 80 m en Landsat MSS, 30 por 30 en Landsat TM y de 10 por 10 o 20 por 20 en SPOT. Los valores que tienen los pixeles pueden ir de 0 a 64 niveles radiométricos en MSS y SPOT ó de 0 a 255 en TM y SPOT, y son conocidos como DN por sus siglas en inglés “digital numbers”. La información contenida en las imágenes digitales debe ser sometida a una serie de manipulaciones para corregir errores, extraer información específica o bien mejorar la visualización.

Restauración y correcciones radiométricas

Este es el primer paso en el procesamiento de las imágenes. Mediante el proceso de restauración se efectúa la remoción de efectos de magnitud conocida, como las respuestas no lineales del detector. La corrección se realiza para suprimir los efectos cuyas magnitudes no son conocidas, tales como la dispersión atmosférica. Las correcciones radiométricas involucran el re-arreglo de los DN de tal forma que todas las áreas de la imagen tengan una respuesta lineal de los DN con la radiación reflejada.

Cuadro 3

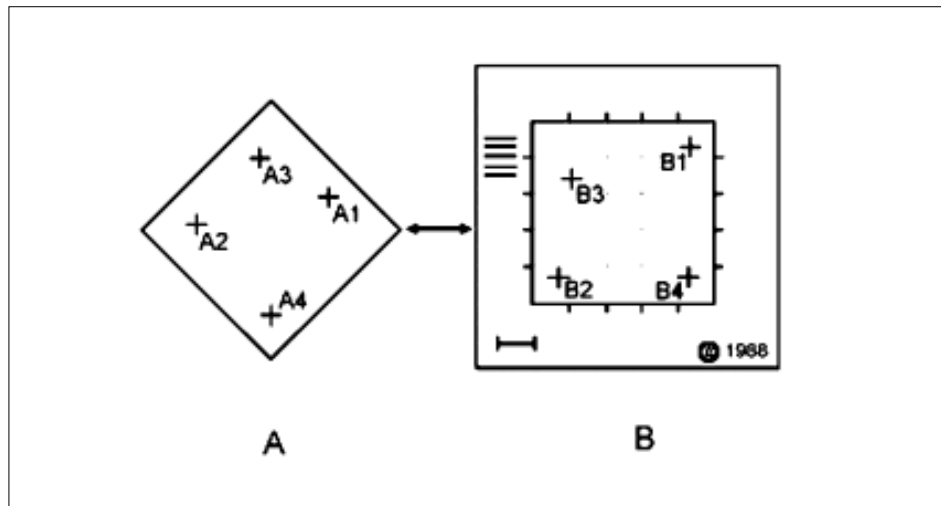
Satélite	Landsat	SPOT	NOAA	IRS					
Sensor	Multiespectral Scanner (MSS)	Thematic Mapper (TM)	Modo Panorámico	Modo Multiespectral	NOAA	IRS	Panorámico Self-scanning	Linear Imaging Sensor (LISS-III)	Wide Field Sensor (WIFS)
Resolución espacial (m)	80	30	10	20	1100	5.8	23	23	
Resolución espectral (número de bandas)	4	7	1	3	5	1	4	3	
Tipo	Visible Infrarrojo	Visible Infrarrojo IR Térmico	Panorámico	Visible Infrarrojo	Visible IR Térmico	Panorámico	Visible Infrarrojo	Visible Infrarrojo	
Resolución temporal(días)	16	16	3-4	3-4	0.5	24	24	24	
Resolución radiométrica (niveles)	64	256	64	256	1024	64	256	256	
Ancho de banda(km)	185	185	60	60	3000	70	142	142	

Principales características de algunos de los satélites de uso más común

Restauración y correcciones geométricas

La finalidad de este tipo de correcciones es ajustar la imagen a un esquema preconcebido, tal como es el caso de los sistemas de coordenadas geográficas utilizadas comúnmente. Este proceso se realiza estableciendo la relación entre la imagen y un mapa correspondiente, mediante la ubicación de puntos comunes en ambos, generalmente cruces de caminos, construcciones, etc. Las coordenadas de los puntos comunes se obtienen de mapas de escala detallada y se re-arreglan los píxeles en el nuevo sistema de coordenadas (Figura 7).

Figura 7



Corrección geométrica. La imagen original (A) es transformada a un esquema preconcebido (B)

Realce de las imágenes

El realce de las imágenes tiene como finalidad mejorar el despliegue visual. Las técnicas más comunes son: el estiramiento del histograma, cociente y substracción de bandas, compresión de datos, filtrado y despliegue a color.

- El estiramiento del histograma. Esta técnica se refiere al hecho de que la información de una imagen puede ser desplegada en forma de un histograma de la frecuencia de los DN presentes en la misma. Como ya se mencionó, las imágenes Landsat TM potencialmente pueden registrar 255 niveles de energía que pueden ser desplegados en un monitor como 255 tonos de gris. No

todas las escenas abarcan los 255 tonos por lo que el histograma presenta las frecuencias de los DN ubicados en un rango estrecho. Mediante el estiramiento del histograma se puede mejorar los contrastes (Figura 8).

- Cociente de bandas. Las imágenes pueden ser manipuladas aritméticamente para obtener información específica. Una serie de índices han sido desarrollados para resaltar particularidades de los objetos en una imagen. Entre los más usados y conocidos están el índice de vegetación, el índice normalizado de vegetación. En concreto, ésta técnica reduce la información común entre dos bandas y resalta las particularidades de cada una. Así por ejemplo, es común utilizar el radio de la banda 2 y la banda 3 (visible e infrarrojo cercano) del Landsat MSS o las 3 y 4 del TM, conocido como índice de vegetación verde (IVV):

$$IVV = \frac{\text{banda infrarroja}}{\text{banda roja}}$$

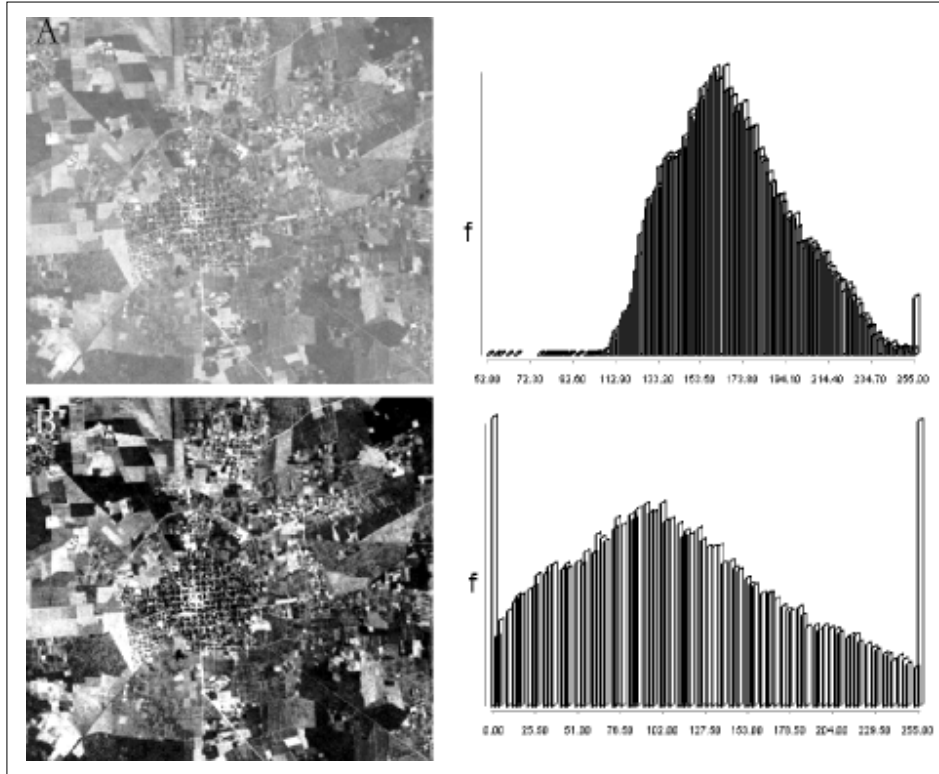
- su expresión normalizada (Índice Normalizado de Vegetación)

$$INDV = \frac{\text{banda infrarroja} - \text{banda roja}}{\text{banda roja} + \text{banda infrarroja}}$$

Los valores resultantes de esta operación fluctúan entre cero u uno. Dado que los máximos y mínimos valores de reflectancia de la vegetación se ubican en el infrarrojo y el rojo respectivamente, los valores cercanos a uno evidencian sitios con alta densidad de vegetación, mientras que áreas carentes tendrán cero.

- Filtros. La frecuencia espacial es una de las características de las imágenes de satélite. Se define como el número de cambios en los valores de brillantez por unidad de distancia en un sector cualquiera de la imagen. Si hay pocos cambios en la brillantez en un área dada, entonces se refiere a dicha área de baja frecuencia, al contrario, las regiones de fuertes contrastes son regiones de altas frecuencias. Las modificaciones de las frecuencias de las imágenes se realizan por medio de filtros, que no son otra cosa que algoritmos que modifican los valores originales de la imagen. Dos grandes grupos de filtros se reconocen: los filtros pasa altas y los pasa bajas. Los primeros permiten obtener imágenes de altas frecuencias, mientras que los segundos, de baja frecuencia. Los filtros “pasa alto”, por ejemplo, se usan cuando se quiere resaltar diferencias, como es el caso de bordes de cualquier tipo (parcelas, carreteras, costas, etc.). Existe toda una teoría matemática alrededor de estos procesos que escapan los objetivos de este escrito (Figura 9).

Figura 8

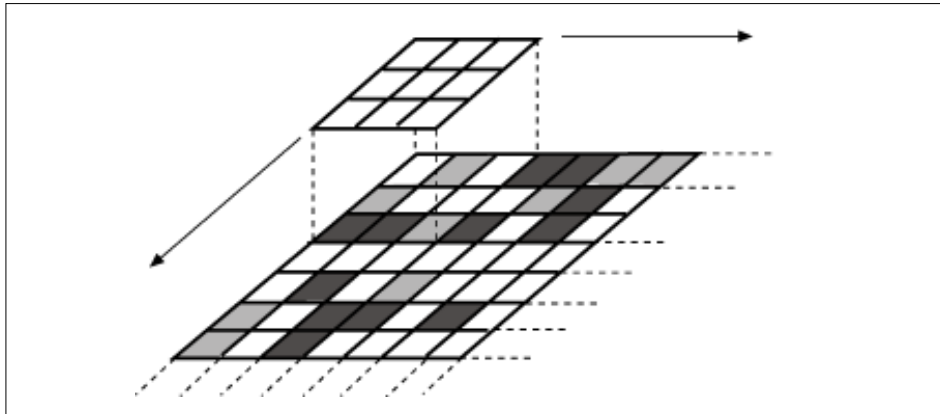


Mejoramiento de imágenes. Estiramiento del histograma. En A) la imagen original y su histograma correspondiente. En B), la misma imagen mejorada mediante el estiramiento del histograma.

- *Compresión de datos.* Las transformaciones estadísticas que se aplican a grandes volúmenes de información o de aspecto multivariado, también se aplican a las imágenes de satélite. Dado que las diferentes bandas espectrales presentan correlaciones positivas y negativas, la información resulta redundante. El análisis de componentes principales (ACP) es una técnica muy empleada para extraer la información más relevante de una serie de datos.
- *Despliegue en color.* Debido a que nuestros ojos pueden detectar más tonos de color que tonos de gris, el despliegue de la información satelital en colores aumenta notablemente las posibilidades de interpretación. Así, las imágenes son frecuentemente coloreadas usando 'pseudocolores' cuando se trata de una banda o 'falsos colores' cuando son varias imágenes. El uso de 'pseudocolor' involucra el reemplazo de cada tono de gris por un color que

separa las pequeñas diferencias en la escala de grises. El 'falso color' se utiliza cuando se quiere desplegar la información de tres imágenes a la vez. A cada imagen se le asigna uno de los tres colores primarios, por lo que la variación del comportamiento espectral de un objeto en estas tres bandas tendrá una respuesta particular.

Figura 9



Mejoramiento de las imágenes. Filtrado. El filtrado consiste en un algoritmo que se aplica a un conjunto de celdas para resaltar algún rasgo.

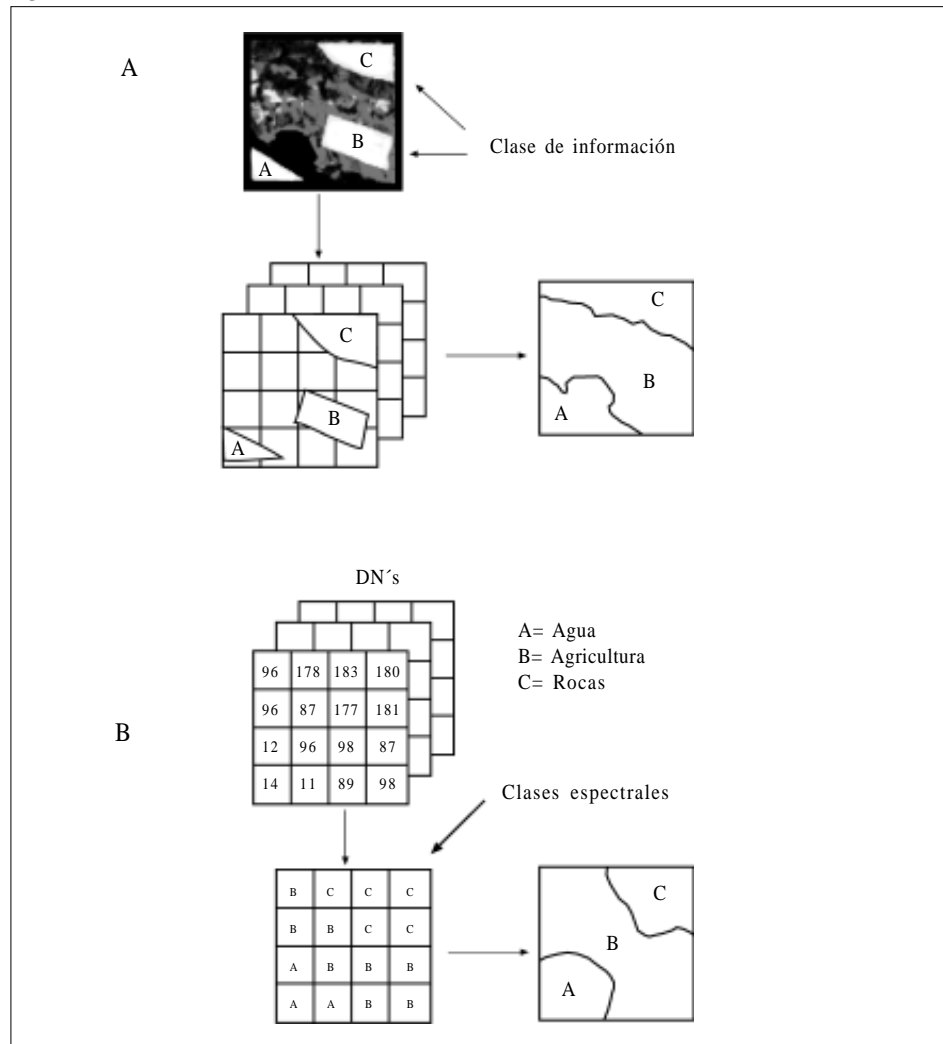
Clasificación de imágenes

Así como es posible clasificar a una región geográfica por su vegetación, es posible clasificar también una región geográfica por su comportamiento espectral detectado por los sensores remotos. Finalmente la clasificación de una imagen de satélite consiste en asociar esos patrones espectrales a rasgos característicos de la superficie terrestre. A nivel general, se pueden reconocer dos grandes tipos de formas de llevar a cabo la clasificación, conocidas como clasificación no supervisada y clasificación supervisada, pero que en realidad la clasificación generalmente involucra ambos procedimientos (Figura 10).

La clasificación supervisada consiste, como su nombre lo indica, en la supervisión del analizador y la interacción del mismo con la herramienta de clasificación, esto es, la computadora. Para realizar una correcta y coherente clasificación es necesario tomar en consideración varios aspectos. Entre ellos, es la selección de bandas a utilizar, la localización de áreas significativas de entrenamiento, la determinación de la relación entre el objeto y su DN en las bandas escogidas, la extrapolación de estas relaciones a toda la imagen y el establecimiento de una valoración de la precisión de los resultados.

La selección de bandas a utilizar es una parte del proceso muy importante pues reduce el volumen de datos a manejar. Como ya se mencionó anteriormente, existe una relación entre las bandas, por lo que el uso de todas en un análisis resulta en trabajar con datos redundantes y gasto excesivo de tiempo.

Figura 10



A) Clasificación supervisada. Se seleccionan campos de entrenamiento y se extrapolan los resultados al resto de la imagen mediante el uso de un clasificador . B) Clasificación no supervisada. Mediante el uso de un clasificador se extraen los grupos naturales de la imagen, con el supuesto de que grupos similares tendrán valores de reflexión similares (o DN's).

Una vez que se ha hecho la selección de bandas, se desarrollan campos de entrenamiento en la imagen. Esto es, se seleccionan sitios con coberturas conocidas, se definen las clases a las cuales pertenecen tomando en cuenta de que sean representativos de su clase. Estos sitios de muestreo representan la información que determinará las reglas de clasificación de cada pixel.

Para determinar si las clases selectas pueden ser separadas estadísticamente, se puede realizar una clasificación no supervisada. La finalidad de este método es encontrar los grupos naturales presentes en la imagen, es decir, agrupar aquellos pixeles que presentan valores similares. Generalmente se utiliza un análisis de agrupación para hacer esta clasificación, aunque se han desarrollado algoritmos más sofisticados para hacer clasificaciones no supervisadas.

Una vez obtenida una clasificación satisfactoria, es deseable realizar una evaluación de la precisión de la clasificación realizada. Esto se hace generalmente, tomando de muestras de la imagen clasificada y se comparan con lo que efectivamente está en el campo. Mediante una matriz de veracidad se puede hacer una aproximación estadística.

A manera de conclusión

Sin lugar a dudas, las técnicas de percepción remota representan una gran herramienta para el estudio de los recursos naturales. Las cualidades y características aquí esbozadas nos dan una idea de la aplicabilidad de las mismas. En estos tiempos, nos resulta inconcebible una medición atmosférica o una predicción climatológica sin ayuda de estas herramientas; el monitoreo de la deforestación, de los incendios, del ataque de plagas o bien de desastres naturales o antropogénicos se realiza por estos medios cada día con más frecuencia. Por otro lado, los resultados obtenidos de la clasificación de fotografías aéreas o de imágenes de satélite representan una fuente de datos para alimentar a un sistema de información geográfica (SIG). En un SIG pueden conjuntarse distintas fuentes de información con la finalidad de describir, conocer y modelar determinado aspecto de índole geográfico.

Referencias

- Curran, P. 1985. Principles of remote sensing. Longman Scientific & Technical. England, 262 pp.
- Estes, J. E. Y M.J. Cosentino. 1988. Remote sensing of vegetation. In: M. B. Rambler, L. Margulis y R Fester (eds.): Global Ecology. Towards a Science of the Biosphere. Academic Press. London, UK pags. 75-112.
- Montoya, J. A. 1986. Percepción remota. Clasificación de los sensores remotos. Plataformas utilizadas en Percepción Remota. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá, Colombia, 80 pp.
- Palacio, J. L. s.f. Teledetección (manuscrito). Instituto de Geografía. UNAM.
- Photography, Microsoft® Encarta® 96 Encyclopedia. © 1993-1995 Microsoft Corporation. All rights reserved. © Funk & Wagnalls Corporation.
- Remote Sensing Core Curriculum. 1998. Tutorial de Percepción Remota en Internet. <http://umbc7.umbc.edu/~tbenja1/santabar/rscc.html>
- Short, N M. 1999. Remote Sensing Tutorial. <http://rst.gsfc.nasa.gov/Front/tofc.html> Nasa.

17

VÍDEO-TELEDETECCIÓN Y FOTOGRAFÍA DIGITAL

José Luis Palacio-Prieto* y Armando Peralta-Higuera

Introducción

La percepción remota es una tecnología encargada de la adquisición de datos a distancia (Aronoff, 1991). Se basa en el uso de sensores instalados en plataformas diversas (satélites, aeronaves, globos, etc.), que registran la energía radiada o reflejada por los objetos que están presentes en la superficie de la Tierra (Falkner, 1995). Dentro de los productos convencionales de dicha tecnología más reconocidos y de mayor utilización se encuentran la fotografía aérea y las imágenes de satélite, que actualmente constituyen la fuente principal de información sistemática acerca del estado que guarda la superficie terrestre. Más recientemente, como consecuencia de algunas limitaciones de las imágenes convencionales de satélite para algunas aplicaciones, el uso del video y la fotografía digital ha ido en creciente aumento en estudios de evaluación de recursos naturales y, en general, en trabajos relacionados con la evaluación del territorio (véase, p.e. Everitt, 1988; Palacio *et al.*, 1997).

Este capítulo se refiere al uso del video y de la fotografía digital como tecnologías alternas de percepción remota, sus alcances y limitaciones en el estudio de rasgos y fenómenos presentes en la superficie terrestre, así como las perspectivas futuras del uso de estas tecnologías.

* Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Percepción remota alternativa: vídeo-teledetección y fotografía digital

Dos cualidades de importancia central en el uso de las imágenes digitales obtenidas desde sensores instalados en satélites corresponden a la resolución temporal y la resolución espacial.

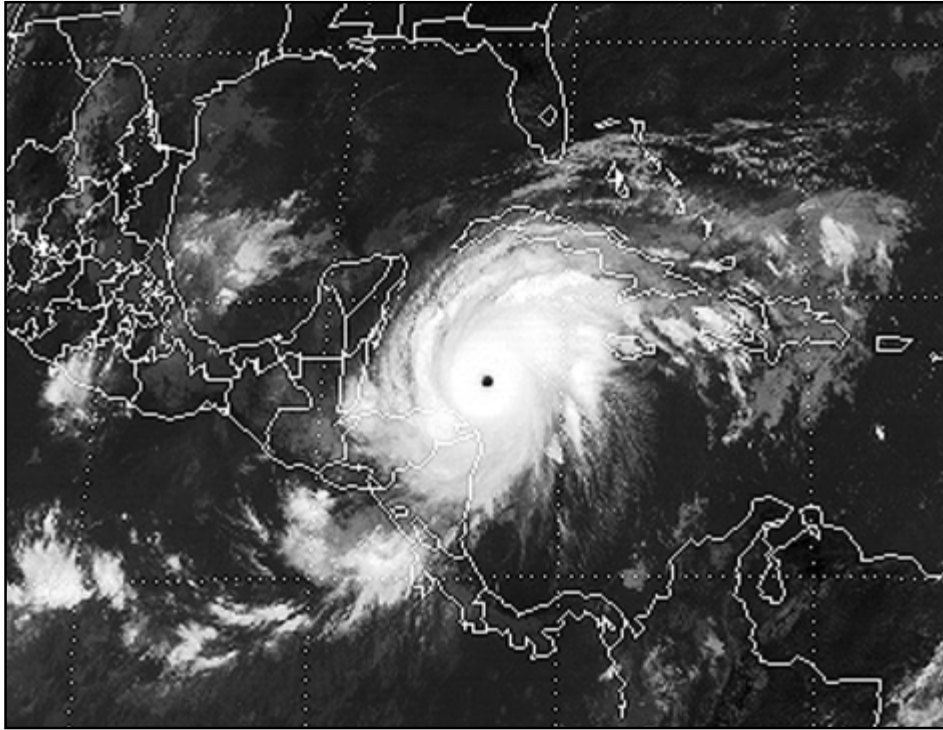
La resolución temporal se refiere al tiempo que debe transcurrir antes de contar con dos imágenes sucesivas de un mismo sitio, es decir, una vez que es obtenida una imagen, el satélite requiere de un tiempo necesario antes de pasar sobre el mismo lugar para obtener una segunda imagen. Algunos satélites geoestacionarios, es decir que se encuentran en una posición fija sobre la Tierra, son capaces de generar imágenes en el término de minutos u horas, mientras que los satélites que se encuentran en órbita móvil, como los de trayectoria polar, se encuentran en constante movimiento para cubrir todos los espacios de la superficie terrestre; éstos requieren de un número de días antes de adquirir la segunda imagen consecutiva.

La resolución temporal influye de manera importante en estudios donde debe realizarse un seguimiento de fenómenos de muy corta duración, en donde dicho fenómeno puede eventualmente no ser captado o coincidente con el paso del satélite, lo cual puede ocasionar que el fenómeno de interés pueda no ser documentado de manera apropiada.

En el caso de satélites heliosincrónicos de órbita polar (por ejemplo SPOT o Landsat), es común que la resolución temporal corresponda a periodos que van desde días hasta semanas. La puesta en órbita de más de un satélite con características semejantes, permite reducir el tiempo de manera notable, aunque queda la posibilidad de una cubierta de nubes que impida el registro en el tiempo mínimo esperado. En el caso de los satélites geo-estacionarios, como los NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), el tiempo para la generación de datos se reduce sustancialmente a periodos de minutos u horas.

La resolución temporal es determinante en el estudio de ciertos fenómenos. Por ejemplo, para el monitoreo atmosférico, la resolución temporal debe ser alta; de hecho, el estudio de la trayectoria de huracanes, temperaturas del océano, incendios forestales, entre otros fenómenos dinámicos, requiere de una secuencia de imágenes espaciadas en periodos cortos. Las imágenes del sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) son ampliamente utilizadas para el estudio de fenómenos como los señalados (Figuras 1 y 2). Es evidente que imágenes semanales (como las del tipo Landsat o SPOT) serían insuficientes para la correcta evaluación de fenómenos dinámicos como los mencionados que requieren, en suma, de imágenes de alta resolución temporal.

Figura 1

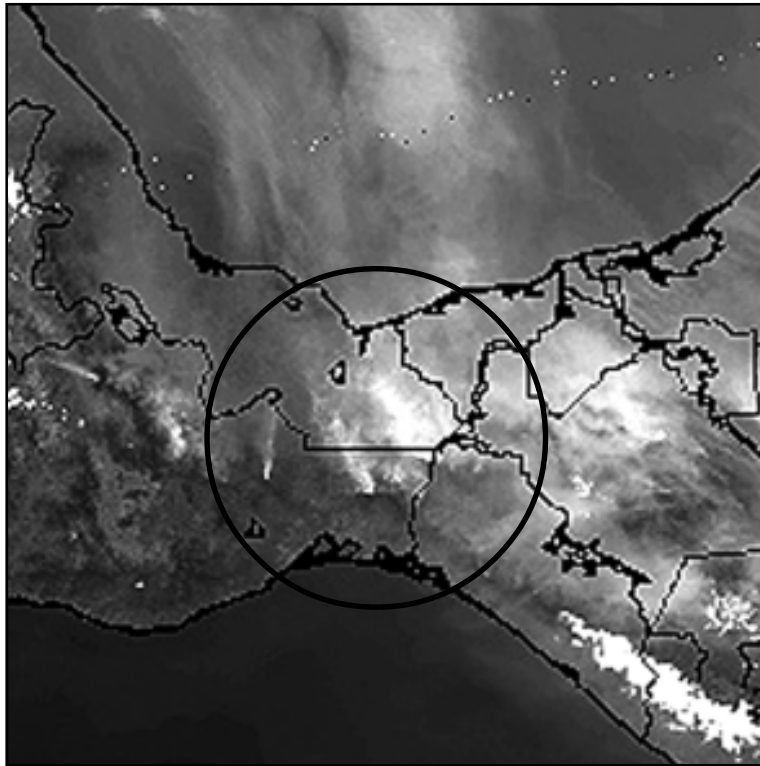


Huracán *Mitch* en una imagen AVHRR obtenida el 26 de octubre de 1998
(fuente: Servicio Meteorológico Nacional, Comisión Nacional del Agua)

Las imágenes de alta resolución temporal, como las señaladas, se caracterizan por lo general por cubrir amplias regiones. La Figura 1 permite apreciar parte del cubrimiento regional de una imagen AVHRR; las dimensiones del área cubierta son del orden de las decenas de millones de kilómetros cuadrados. Por estas características, las imágenes tienen una resolución espacial relativamente baja.

La resolución espacial se asocia a la capacidad de detección de objetos. Mientras mayor sea la resolución espacial, podrán definirse objetos de dimensiones cada vez menores. Las imágenes del sensor AVHRR, por ejemplo, tienen una resolución espacial de 1.1 km^2 , es decir, el área mínima representada es de un cuadro (o pixel) $1.1 \times 1.1 \text{ km}^2$. Esta resolución es adecuada para el estudio de grandes regiones o fenómenos de dimensión regional, como los huracanes o incendios referidos antes, e incluso para la evaluación del comportamiento de la vegetación en grandes áreas, pero ciertamente resulta insuficiente para el estudio de otros fenómenos más puntuales, como por ejemplo, el crecimiento urbano, estudios geológicos, geomorfológicos,

Figura 2



Incendios forestales en México. Se aprecian plumas de humo procedentes de áreas incendiadas en el área de Los Chimalapas, Oaxaca; la imagen del sensor AVHRR, instalado en el satélite NOAA-14 fue obtenida en 13 de mayo de 1998. Nótese las nubes de humo en el círculo y en dirección norte, sobre el Golfo de México.

Las imágenes Landsat MSS tienen una resolución de 80 m (es decir 80 x 80 m²) mientras que en el caso de las SPOT es de 20 y hasta 10 m. Si bien los detalles que pueden captar estas imágenes son obviamente mayores que el caso de las imágenes AVHRR, también el cubrimiento territorial es sustancialmente más reducido, por lo cual el estudio de fenómenos regionales (del orden de los millones de kilómetros cuadrados), implicaría el uso de un número demasiado grande de imágenes de mayor resolución espacial. Puede afirmarse, de manera general, que las imágenes de satélite mantienen por lo general un comportamiento proporcionalmente indirecto en cuanto a sus características de resolución espacial y cubrimiento de territorio; a mayor resolución espacial, menor cubrimiento de terreno y viceversa.

Aún y cuando la resolución espacial y temporal tienden a la optimización con la puesta en órbita de más satélites provistos de una tecnología más desarrollada, algunas aplicaciones aún requieren ya sea de mayor detalle (mayor resolución espacial) o mayor oportunidad en el tiempo de adquisición y disponibilidad al usuario (resolución temporal). Desde hace más de una década, el uso de video y más recientemente de fotografía digital representan una herramienta alternativa de gran utilidad en la evaluación del territorio (Everitt y Escobar, 1995). Entre las características más apreciadas de estas herramientas se encuentran, la inmediata disposición del material en formato digital y la posibilidad de controlar tanto la resolución espacial como la temporal (véase, por ejemplo, Everitt y Nixon, 1985; Mausel *et al.*, 1992; King, 1995), así como la espectral.

Video-teledetección

La video-teledetección se basa en el uso de cámaras de video instaladas en diversas plataformas. Por ejemplo, Palacio y López (1994) utilizaron un globo aerostático para obtener imágenes multitemporales de video para medir el retroceso de las cabeceras de cárcavas. En el trabajo mencionado, los autores utilizaron bolsas de plástico infladas con Helio y colocaron una cámara de video convencional de formato 8 mm para la obtención de las imágenes; la posición del globo fue controlada desde el terreno a través de unos cables de nylon.

A una altura variable entre 300 y 1000 m sobre el terreno, la cámara obtuvo imágenes del área de interés, posteriormente las imágenes fueron reproducidas en un monitor de televisión con el fin de seleccionar aquéllas que garantizan una posición lo más vertical posible, con el fin de evitar deformaciones excesivas.

Las imágenes seleccionadas fueron digitalizadas por medio de una interfase comercial y transferidas a programas de procesamiento de imágenes para su mejoramiento visual. Las imágenes seleccionadas fueron finalmente introducidas en un sistema de información geográfica con el fin de georreferenciarlas y de corregir, de esta manera, las deformaciones propias de la escena.

Para llevar a cabo la georreferenciación, los autores realizaron un trabajo topográfico previo con el fin de obtener puntos con coordenadas métricas arbitrarias, los puntos de control fueron marcados en el terreno previo a la toma de imágenes colocando marcas detectables en las imágenes del video. Se realizaron diversas tomas en un período de 2 años con el fin de evaluar los cambios en el terreno y, específicamente, el avance o crecimiento de las cabeceras de las cárcavas estudiadas a través de la comparación de las imágenes seleccionadas.

Fouché (1989) utilizó un avión de radiocontrol para obtener imágenes para la evaluación de terrenos agrícolas. Las plataformas más comunes incluyen, más frecuentemente, avionetas y helicópteros.

En México, el desarrollo de la video-teledetección ha tenido lugar en instituciones académicas de investigación, principalmente en los Institutos de Ingeniería (Peralta *et al.*, 1988) y de Geografía (Palacio *et al.*, 1997) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). En el primer caso, se han utilizado filtros espectrales en cámaras de uso comercial común, así como cámaras espectrales (hasta infrarrojo térmico) en diversas aplicaciones.

En el Instituto de Geografía de la UNAM se han utilizado cámaras comerciales cuya configuración incluye registro de posición por medio de un receptor GPS (*Global Positioning System*), lo cual permite localizar cada cuadro del video para su ubicación en el terreno.

En el Instituto de Ecología de la UNAM, ha utilizado exitosamente un sistema de dos cámaras en línea con el objeto de monitorear el territorio con fines de detección de tipos de uso del suelo y vegetación, así como para obtener una referencia de campo para la clasificación de imágenes de satélite Landsat.

En términos generales, las ventajas de esta tecnología incluyen:

- Las imágenes están disponibles inmediatamente para su evaluación, en tiempo real.
- El equipo utilizado es portátil, versátil y de fácil uso, tiene un costo accesible y se encuentra disponible a distintos presupuestos. Cualquier cámara de video, digital o no, puede ser utilizada.
- El costo de operación es bajo; las cintas son reusables y el costo principal está representado por la plataforma a ser utilizada (globo, avión, helicóptero, etc.).
- El sistema de audio puede ser utilizado como referencia de información adicional durante el vuelo.
- Las imágenes en color pueden ser separadas en sus componentes roja, verde y azul para su procesamiento espectral.
- Existen dispositivos cada vez más accesibles en su uso y en lo económico, para la digitización del video.

Entre las limitaciones reportadas para las imágenes de video en algunas aplicaciones, se encuentran las siguientes:

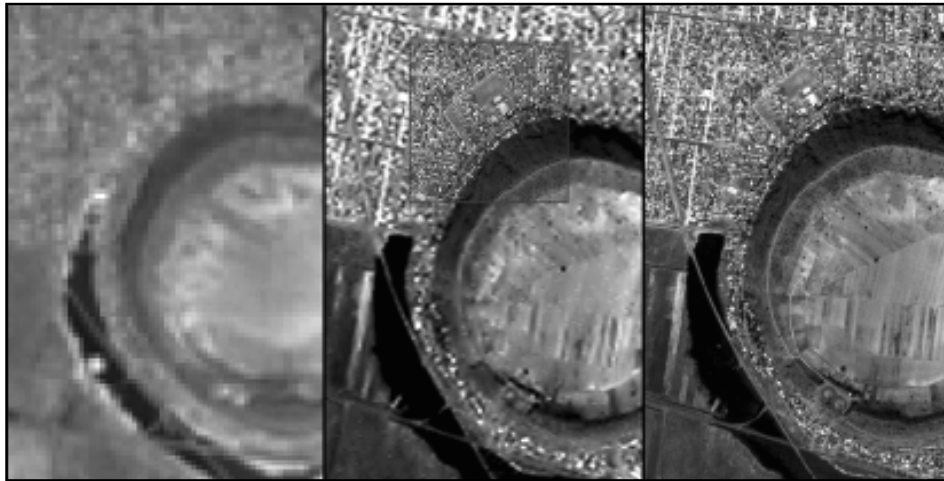
- Distorsión de la imagen desconocida, que debe ser calculada para cada cámara de manera individual.

- Distorsión espectral de la imagen, que debe también ser definida para cada cámara en lo particular.

Fotografía Digital

A diferencia de las cámaras de video convencionales, las cámaras de fotografía digital poseen una mejor definición de imagen gracias a su mayor resolución. Mientras que una imagen individual de video de buena calidad digital llega a tener en promedio una resolución de 700 columnas por 500 líneas (aproximadamente 350 000 píxeles o celdas), una fotografía digital obtenida con una cámara de buena calidad llega a tener 1 500 columnas por 1 024 líneas (aproximadamente 1.5 Mb, lo que resulta en una imagen más nítida y de mayor calidad geométrica (véase Figura 3).

Figura 3



Comparación entre la resolución espacial de una imagen de satélite (SPOT, 20 m), video (7 m) y fotografía digital (2.5 m)

En términos generales, las ventajas de la fotografía digital son equivalentes a las señaladas para las imágenes de video, destacando el origen digital de la imagen y la versatilidad de los formatos utilizados, lo que las hace compatibles con cualquier programa de cómputo especializado en el procesamiento de imágenes.

Aunque poseen ciertas limitaciones por la distorsión geométrica, recientemente, Navarrete (1998) ha demostrado la utilidad de la fotografía digital como

alternativa para la actualización expedita de cartografía, obteniendo resultados alentadores en cuanto a la precisión de mosaicos en escalas hasta de 1:20 000 (véase Figura 4).

Figura 4



Mosaico de fotografía digital del la zona federal del ex-Lago de Texcoco (Navarrete, 1998).
El mosaico consta de más de 30 fotografías individuales

Figura 5



En la parte superior, se aprecian los estragos causados por el huracán Paulinne en Acapulco en 1997. La fotografía inferior refiere parte de los daños a la infraestructura carretera en la ciudad de Pijijiapan, Chiapas, como consecuencia de las lluvias torrenciales de 1998.

En México se cuenta con una importante experiencia en el uso de la fotografía digital para la evaluación del territorio. Recientemente, la Comisión Nacional del Agua (Gerencia del ex-Lago de Texcoco) financió al Instituto de Geografía de la UNAM para el desarrollo de un sistema de monitoreo de obras de conservación del suelo y agua basado en fotografía digital. El levantamiento general realizado rebasó las 200 000 ha. Además de este levantamiento, el equipo ha permitido monitorear los daños en la infraestructura derivados del paso de huracanes en Acapulco y la costa sur de Chiapas (véase Figura 5), hacer reconocimientos detallados en la línea de costa con fines de evaluación de la ocupación de la zona federal marítimo terrestre y, más recientemente, evaluaciones puntuales de la vegetación en áreas de humedales.

Los objetivos de los temas señalados se encuentran en particular concordancia con las posibilidades que ofrece la fotografía digital como técnica alternativa a las fuentes convencionales de percepción remota, como la fotografía aérea y las imágenes de satélite.

Perspectivas y consideraciones finales

El uso de video y fotografía digitales en la evaluación del terreno tiende a incrementarse de manera notable con base en las ventajas señaladas anteriormente. Debe hacerse énfasis en el desarrollo de la tecnología de cómputo como un elemento de gran trascendencia para que ello esté sucediendo. El desarrollo de computadoras personales, de interfases para la digitización de imágenes y la disponibilidad de programas especializados, permite la manipulación y procesamiento de imágenes digitales de manera eficiente y económica.

El desarrollo de programas de diseño gráfico (p.e. *Corel draw*, *Adobe Photoshop* y similares) permite contar con herramientas para la construcción de mosaicos fotográficos con calidad suficiente para la realización de estudios específicos, aunque deben establecerse sus limitaciones cartográficas. Los productos derivados de la manipulación de imágenes digitales de video y fotográficas no sustituyen totalmente a los productos cartográficos de manera total, si bien son una alternativa suficiente para muchos estudios.

Los alcances y limitaciones de los diferentes productos derivados de la percepción remota deben evaluarse en el contexto de la aplicación y de la escala de trabajo. En ningún caso puede hablarse de productos “mejores o peores”, sino de adecuados y no adecuados para cada caso de estudio.

Las escalas temporal y espacial resultan fundamentales. En este sentido, los fenómenos dinámicos requieren de imágenes oportunas, no necesariamente con

una resolución espacial determinada, que lleguen al usuario final en tiempos reducidos; el caso de fenómenos naturales causantes de desastres es el caso más evidente. Los huracanes y daños derivados deben evaluarse con imágenes oportunas pero con resolución espacial distinta; por ejemplo, el monitoreo de la trayectoria de un huracán se realiza con imágenes del tipo AVHRR, pero la evaluación puntual de daños requiere de un mayor detalle, por lo que puede realizarse con video y fotografía digital. En estos casos, las imágenes del tipo Landsat o SPOT tendrían la limitación del tiempo que tardan en estar disponibles al usuario.

En otros casos, los estudios de carácter regional (geología, geomorfología, vegetación) pueden encontrar su mejor herramienta justamente en el caso de imágenes tipo Landsat o SPOT, siempre que la oportunidad en el tiempo lo permita y el detalle necesario sea compatible con el de dichas imágenes y los requerimientos del trabajo por realizar.

En todo caso, el uso de un determinado tipo o tipos de imagen derivada de la percepción remota es un compromiso en donde la oportunidad, la precisión, las características del terreno y del fenómeno particular en estudio, así como los costos, son factores a considerar.

Agradecimientos

La M. en G. Laura Luna preparó las figuras contenidas en el escrito; la Pas. en Biol. Lissania Macías capturó y procesó las imágenes AVHRR incluidas en el mismo; José Antonio Navarrete proporcionó la Figura 5 del manuscrito. A todos ellos se agradece su cooperación.

Referencias

- Aronoff, S. (1991) "Geographic Information Systems: a management perspective", WDL Publications, Ottawa, Canada.
- Everitt J.H. y P.R. Nixon, (1985) "Video imagery: a new remote sensing tool for range management". *Journal of Range management*, 38:421-424.
- Everitt, J.H. (1988) "Introduction to Videography: historical overview, relation to remote sensing, advantages and disadvantages", First Workshop on Videography, ASPRS, Terre Haute, Indiana.
- Everitt, J. H. y D. E. Escobar (1995) "Using video imaging technology for remote sensing of natural resources". VII Simposio Latinoamericano de Percepción Remota, Puerto Vallarta, Jalisco, México. Noviembre p.753-773.

- Falkner, E. (1995) "Aerial mapping, methods and applications", Ed. Lewis Florida, EEUUA.
- Fouché (1989) "Remotely piloted aircraft for low altitude aerial surveillance in agriculture". 12th Biannual Workshop on Aerial Photography and Videography, ASPRS, Sparks, Nevada, EEUUA. pp.277-284
- King, D. J. (1995) "Airborne multispectral digital camera and video sensors: a critical review of system designs and applications", *Canadian Journal of Remote Sensing*, 25: 245-273
- Mausel, P.W., J. H. Everitt, D.E. Escobar y D. J.King (1992) "Airborne videography: current status and future perspectives". *Photogrammetric Eng. & Remote Sensing*, (58):189-1195.
- Navarete, J. A. (1998) "El uso de fotografías aéreas digitales y SIG en la actualización cartográfica de la zona federal del ex-Lago de Texcoco" Tesis de Licenciatura en Geografía, Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM.
- Palacio, J. L. y J. López (1994) "Videography: an alternative remote sensing tool for monitoring gully erosion". *ITC Journal*, (3):233-237.
- Palacio, J. L., A. Peralta y L. Luna (1997) "Video remote sensing and digital videography in Mexico; overview and present status" 16th Biannual Workshop on Videography and Color Photography in resource assessment, ASPRS, Weslaco, Texas, EEUUA. pp 300.307.
- Peralta-Fabi, R., A. Peralta, J. Prado, E. Vicente, H. López, M. Navarrete, O. Weckman y R. Rodríguez (1988) "Diseño conceptual y preliminar de una aeronave automática para percepción remota". Resumen. III Simposio Latinoamericano sobre sensores remotos SELPER, Acapulco, México.

18

INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Celene Espadas Manrique*

Introducción

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son en la actualidad una de las herramientas más empleadas y útiles en la planeación y en el manejo de los recursos naturales. Constituyen un modo particular de los sistemas de información aplicados a datos geográficos, cuya principal característica es su capacidad de análisis.

Los SIG han sido comúnmente definidos con base en sus aplicaciones, así como también en sus avances tecnológicos. Bajo este contexto, pueden ser vistos como un sistema de hardware, software y procedimientos diseñados para lograr la captura, el manejo, la manipulación, el análisis, la modelación y la integración y el despliegue de datos espaciales en un formato digital.

El desarrollo de los SIG ha consistido en integrar conocimientos e innovaciones de campos tan diversos como los sistemas de información, la geografía, la cartografía, la fotogrametría, la percepción remota, la geodesia, la ingeniería civil, la estadística, la informática, la investigación operacional, la inteligencia artificial, así también de áreas tan diversas como las ciencias sociales y naturales. Siendo los Sistemas de Información y la Geografía los principales elementos que lo componen y que se definen a continuación.

- Sistema de información: es un grupo conectado de entidades y actividades que interactúan para lograr un fin común. Por ejemplo, en la informática elementos tales como el hardware, los programas de sistemas operativos (UNIX, MSDOS), los de aplicación y los diseñados para resolver un problema en par-

* Unidad de Recursos Naturales. Centro de Investigación Científica de Yucatán.

ricular, el personal de análisis y el de operación, así como el usuario, interaccionan para generar información útil en una toma de decisiones.

- Geografía: es la ciencia que estudia la localización de hechos y fenómenos físicos, biológicos y sociales sobre la superficie terrestre, las causas que los originan y sus relaciones mutuas.

La utilidad potencial de los SIG son múltiples, por lo cual es difícil dar una definición que constituya todas sus aplicaciones. Sin embargo, es indudable que entre sus principales características se encuentran su habilidad para integrar grandes cantidades de información acerca del ambiente y proveer un poderoso repertorio de herramientas analíticas a través de operaciones geoespaciales, utilizando objetos que comparten el mismo sistema de coordenadas. Por ello, el objetivo de este capítulo es describir la estructura del SIG, su funcionamiento y sus posibles aplicaciones.

Antecedentes

A principios de la década de los sesenta, la influencia de la computación sobre la cartografía se hace evidente con la aparición de los primeros mapas automatizados. La implementación de diversas tecnologías como la percepción remota, la fotogrametría y la interpolación a partir de datos puntuales (Figura 1), permitieron desde entonces generar información de gran utilidad. Esto condujo a la necesidad de desarrollar bases de datos capaces de almacenar grandes volúmenes de información.

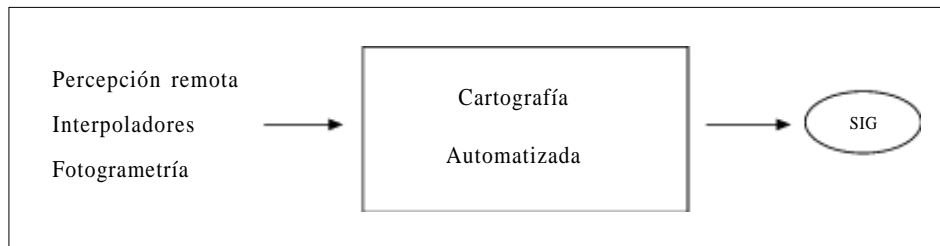
La percepción remota (la toma de imágenes desde los satélites por medio de sensores) junto con la cartografía, los sistemas de manejo de bases de datos y la fotogrametría, sentaron las bases tecnológicas para la implementación de los SIG. A continuación se exponen brevemente las principales características de las tecnologías antes mencionadas (Maguire 1991):

- Los Sistemas de Manejo de Bases de Datos (SMBD). Son programas diseñados para almacenar y recuperar información no gráfica. Entre sus limitaciones se encuentran su incapacidad para recuperar atributos gráficos, así como realizar operaciones de naturaleza espacial.
- La Teledecepción. Es un sistema diseñado para almacenar, manipular y visualizar datos adquiridos por sensores ubicados en plataformas espaciales o aerotransportadas. Entre sus limitaciones se encuentran su escasa capacidad para manipular y procesar datos vectoriales y, por lo tanto, no son apropiados

para el análisis de redes y la impresión de mapas de alta calidad utilizando información vectorial. Así también, es limitado el manejo de atributos y de bases de datos.

- La Cartografía Computarizada. Se utiliza en la recuperación y clasificación de datos, siendo su objetivo primario la representación gráfica de los mismos (no utilizan topología). Asimismo, es de suma importancia en el diseño y la impresión de mapas de alta calidad utilizando formatos vectoriales. A pesar de que los datos pueden estar asociados con una base de datos, sólo pueden realizar operaciones simples de recuperación de información.

Figura 1



Tecnologías que apoyaron en la cartografía y que influyeron en la generación de los Sistemas de Información Geográfica

- El Diseño Asistido por Computadora (DAC). Es útil en el diseño y dibujo de objetos vectoriales y utiliza relaciones topológicas simples. Utiliza normalmente pocos datos y su capacidad de análisis es limitada.

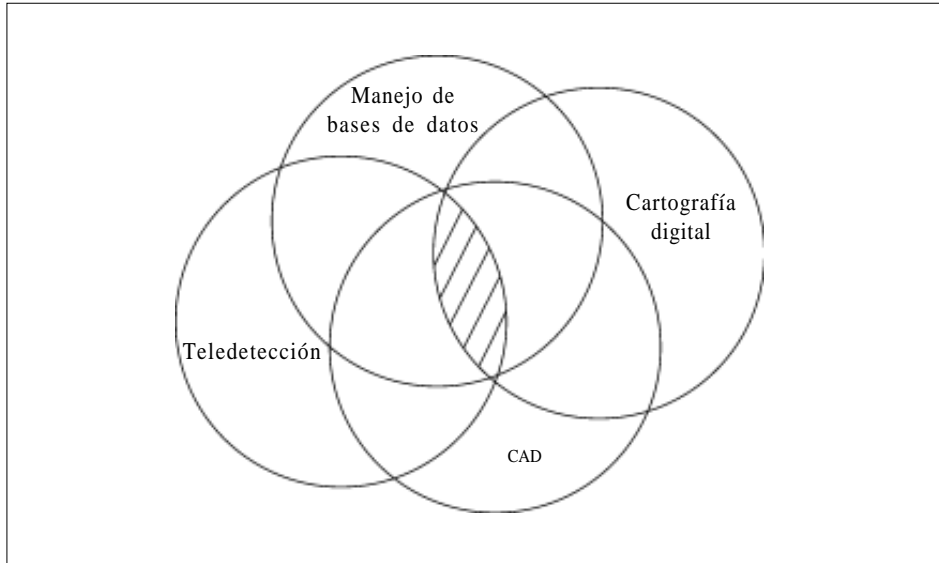
La información generada requirió el diseño de las bases de datos capaces de almacenar grandes volúmenes de información.

Los SIG tienen mucho en común con las tecnologías antes expuestas, y como se mencionó anteriormente sentaron sus bases. Sin embargo, su capacidad para realizar operaciones geoespaciales utilizando objetos que comparten el mismo sistema de coordenadas, así como su capacidad para manejar grandes bases de datos lo distinguen de los anteriores (Figura 2).

Los SIG han tenido grandes avances en los últimos 30 años, debido a sus múltiples aplicaciones en los modelos ambientales y en las políticas de desarrollo; pero fundamentalmente se debe a que desde sus inicios mostraron grandes ventajas con respecto a los otros sistemas de información, entre las cuales destacan las siguientes:

- Son capaces de integrar información espacial, así como de diversos tipos dentro de un solo sistema, esto es, ofrece una consistente estructura para el análisis de los datos geográficos.

Figura 2



Relación entre sig, cad, manejo de bases de datos, teledetección y cartografía digital. Tomado de Maguirre (1991).

- Son capaces de manejar mapas y otro tipo de información espacial en forma digital, así como manipular y desplegar el conocimiento geográfico en nuevas y estimulantes formas.
- Realizan conexiones entre actividades basadas en la proximidad geográfica, etc.

De igual modo, los avances tecnológicos en los Sistemas de Información Geográfica se encuentran directamente relacionados con el éxito del software comercial. Los primeros éxitos comerciales ocurrieron a principios de la década de los 80, principalmente en el área del manejo de recursos. Actualmente existen muchos SIG en el mercado (ARC/INFO, ARCVIEW, IDRISI, MapInfo, etc.), con diferentes capacidades y aplicaciones.

Elementos básicos de un sistema de información geográfica

Equipos. Un SIG requiere de una unidad de procesamiento (CPU) para almacenar y procesar la información; una o más unidades de captura de información que conviertan datos de formato análogo a un formato de tipo digital (tableta digitalizadora, lectora de cintas magnéticas); una o más unidades de salida

(monitores, impresoras, graficadores) y diversas unidades para almacenar datos o programas (unidad de cinta, disco duro, ZIP, CD, DVD, etc.).

Programas. En los SIG, los programas tienen tres aproximaciones básicas: 1) Procesadores de archivos: los archivos de datos y de programas son almacenados individualmente e interactúan al ejecutarse operaciones analíticas. Entre los programas de este tipo se encuentran IDRISI y CI-SIG. 2) Diseño híbrido: sistemas georrelacionales (los conforman un programa para manipular y visualizar los entes gráficos y un sistema de bases de datos para almacenar y manipular los atributos no gráficos. Entre los programas de este tipo se encuentran Arc/Info, Genamap y MGE. 3) Sistema de manejo de bases de datos ampliado (los atributos y la información georeferenciada son almacenados en una base de datos relacional que provee funciones geoespaciales). SYSTEM9 es un ejemplo de este tipo.

Cartografía. Los mapas representan las relaciones espaciales entre los diversos elementos que componen un paisaje, los SIG los procesan (suma, resta, multiplicación, búsqueda de patrones) y visualizan frecuentemente en un formato raster.

Bases de datos. La característica fundamental es que deben ser elaboradas e implementadas correctamente, deben ser funcionales y relacionales para permitir a los SIG manejar los componentes espaciales y los datos geográficos almacenados.

Análisis espacial. Resalta las funciones matemáticas de los SIG que operan para modelar y analizar datos espaciales.

Estructura de las bases de datos

Los datos geográficos deben incluir información acerca de la posición, de las relaciones topológicas y de los atributos de los objetos. De este modo un fenómeno geográfico puede referirse mediante un punto, una línea o un área, incluyendo una leyenda que explique lo que representa.

Una vez que la información geográfica es almacenada en una computadora, es estructurada en una base de datos que permite obtener información de diversos archivos. La estructura de bases de datos puede ser de tres tipos: jerárquica, en red o relacional.

La estructura jerárquica como su nombre lo indica está formada por jerarquías de datos, los cuales pueden descomponerse a su vez en uno o varios grupos de datos. Las relaciones entre los distintos niveles son a través de claves o identificadores. De este modo, la información de cada jerarquía puede ser obtenida sólo si las claves o identificadores son conocidos.

La estructura en red a diferencia de la estructura jerárquica, emplea múltiples conexiones entre los distintos niveles. Es decir, un subnivel puede estar relacio-

nado no sólo con su nivel inmediato superior, sino también con niveles superiores o contiguos dentro de la estructura jerárquica.

La estructura relacional carece de jerarquía. Los datos están en forma de tablas de dos dimensiones y la información puede ser obtenida de manera directa. Así, los datos tabulares pueden ser representados cartográficamente a través de operaciones algebraicas de lógica booleana. Esta estructura se caracteriza por una sólida base matemática y por su flexibilidad.

Estructura geográfica de los datos

Geográficamente los datos espaciales deben ser representados en términos de elementos discretos u objetos que puedan ser caracterizados. Los SIG difieren de acuerdo a la forma en que organizan la realidad a través del modelo de datos. Los modelos vectorial y raster constituyen dos de los principales tipos:

Vectorial

Es la forma más común para representar los datos espaciales, emplea segmentos discretos de líneas o puntos para identificar locaciones (carreteras, corrientes, límites, etc.). La localización se describe por pares de coordenadas, a partir de los cuales se construyen los elementos espaciales (puntos, líneas y polígonos). Los objetos vectores no necesariamente llenan el espacio, no todas las locaciones en el espacio tienen que ser referenciadas en el modelo (Figura 3). Entre las capacidades del modelo vectorial se listan las siguientes:

- La mayoría de las operaciones tiene que ver con objetos
- Las medidas como el área se calculan por medio de coordenadas en vez del conteo de celdas
- Algunas operaciones son más precisas (superficie, perímetro)
- Usando puntos y polígonos se pueden desplegar los objetos almacenados
- Los atributos y las distintas entidades pueden ser mostrados en colores, patrones de líneas y símbolos
- Emplea el lenguaje SQL (*Standard Query Language*) utilizado en diferentes sistemas. Estructura: "SELECT<nombre del atributo>FROM<cuadro>WHERE <condicion>. Operadores: relacionales (>,<,<=,>=,<=), aritméticos (=,-,*,/), y Booleanos (y,o,no).

Raster

La forma más simple de una estructura de datos raster implica el manejo de áreas referida a una matriz de puntos (malla de celdas) comúnmente cuadrada o rectangular (fig. 4). De modo general, el área de estudio es dividida por una cuadrícula regular de celdas en una secuencia específica, convencionalmente línea por línea desde la esquina superior izquierda, partiendo de que cada celda tiene un valor único para cada atributo. Asimismo, cada locación en el área de estudio corresponde a una celda en la cuadrícula y un conjunto de celdas y su valor correspondiente constituyen una capa de información. Entre las capacidades del modelo raster se listan las siguientes:

El despliegue de capas puede ser en colores (cada valor representando un color), en tonos de gris, en perspectiva, así como con leyenda.

- Operaciones locales (producen una nueva capa de información a partir de una o más capas, recodificación, operaciones aritméticas (media, escalamiento, máximos y mínimos) y lógicas.
- Operaciones en los vecinos locales (filtrado, pendientes y aspecto)
- Operaciones en la vecindad local (distancia, zonas de amortiguamiento, zonas de visibilidad)
- Operaciones en zonas (identificación de zonas, área y perímetro de las zonas, distancia de las zonas a los límites o fronteras, forma de la zona).

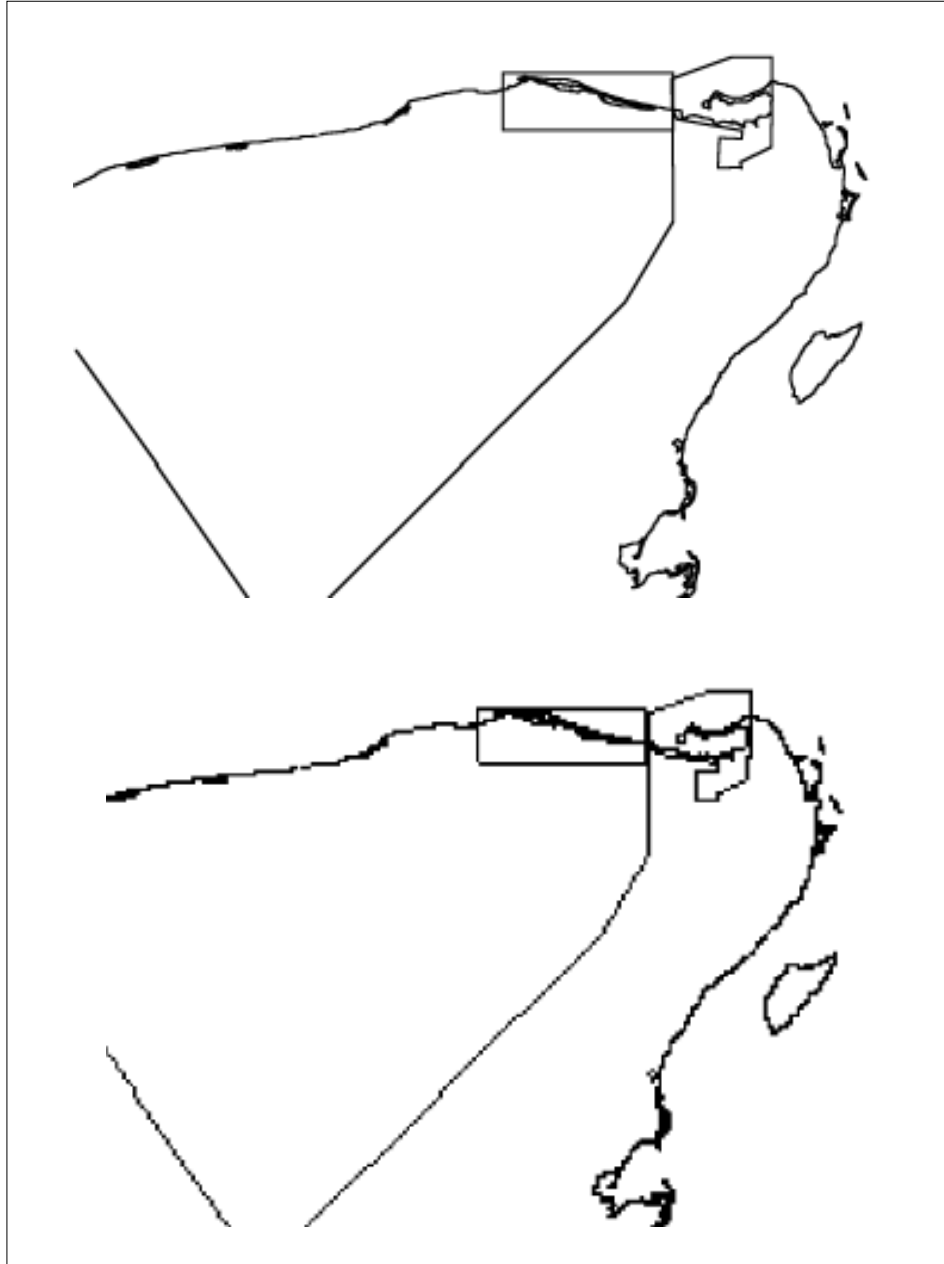
Ventajas y desventajas de los modelos raster y vectorial

La cualidad de los SIG es su capacidad para almacenar la información en forma vectorial o en celdas (raster). Ambos poseen cualidades y desventajas (cuadro 1), dependiendo en gran medida de su aplicabilidad, ya que finalmente es el usuario quien determina su empleo con base en las preguntas que desea responder. Asimismo, ambos modelos pueden ser empleados en un proyecto de SIG.

Funciones analíticas de un sistema de información geográfica

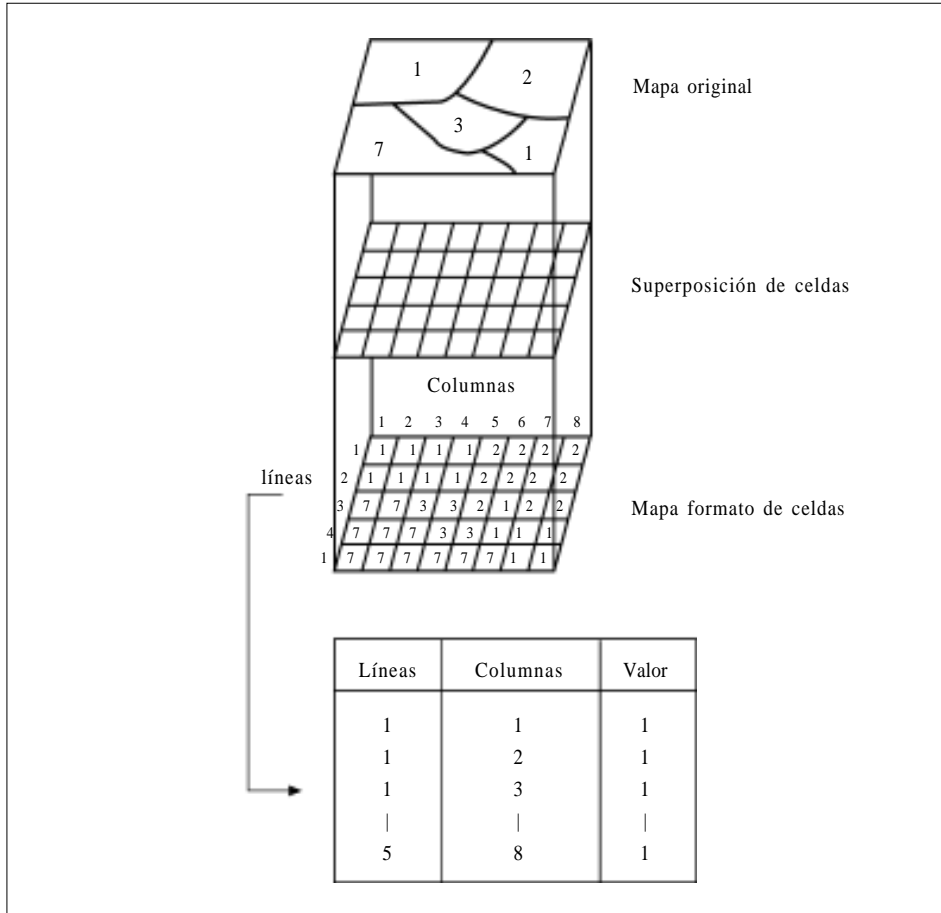
Los SIG se caracterizan por su capacidad para transformar la información espacial original para responder diversas cuestiones, a través de modelos más o menos complejos (Burrough 1991). Entre las operaciones para transformar la información se encuentran las siguientes (Aronoff 1991): mantenimiento y análisis de la

Figura 3



Modelo vectorial. A) ejemplo de tres vectores: norte de la Península de Yucatán y las áreas protegidas de Ría Lagartos y Yum-Balam, B) el mismo ejemplo, pero en formato raster.

Figura 4



Modelo raster. Tomado de Pérez-Gómez (1990)

información espacial, mantenimiento y análisis de la información no espacial, análisis integrado de la información espacial y no espacial, formato de salidas.

Cuadro 1

Raster	Vectorial
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Estructura de datos simple · Las operaciones de superposición son realizadas fácil y eficientemente · La alta variabilidad espacial es representada eficientemente 	<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Provee una estructura de datos más compacta que el modelo raster · Provee eficiencia en la codificación topológica lo que resulta en una implementación más eficiente de operaciones que requieren de información topológica, tal como el análisis de redes
<p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> · La estructura de datos es poco compacta · Las relaciones topológicas son más difíciles de representar · Los gráficos de salida son menos estéticos debido a que los límites tienen una apariencia de bloques en vez de suaves líneas como en los mapas tradicionales 	<p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> · La estructura de datos es mucho más compleja que la raster · Las operaciones de superposición son más difíciles de desarrollar · La representación de la alta variabilidad espacial es ineficiente

Características de los formatos raster y vectorial

a) Mantenimiento y análisis de la información espacial

Las funciones de este punto están involucradas en la transformación, edición y con la calidad de la base de datos espaciales. Existen diferentes métodos y rutinas para llevar a cabo estas transformaciones.

- Transformación de datos (importación/exportación de archivos)
- Transformación geométrica (asignación de coordenadas mediante un mapa base)
- Transformación de proyecciones (aplicado en áreas que por su dimensión se ven afectadas por la curvatura terrestre)
- Reducción del volumen de información vectorial (generalización de información necesaria para representar un segmento)

b) Mantenimiento y análisis de la información no espacial

Las funciones de este punto tienen que ver con la edición, evaluación y análisis de la información no espacial, contenida en la base tabular del SIG.

- Funciones para la edición de atributos (por medio de estas funciones la información es almacenada, activada y modificada)
- Funciones para establecer condiciones (empleadas para establecer relaciones tabulares mediante condiciones que muchas veces involucran a la base cartográfica)

c) Análisis integrado de la información espacial y no espacial

Estas funciones son consideradas como las principales dentro de un SIG. Tales funciones poseen la capacidad de relacionar una base de datos cartográfica con su correspondiente tabular. Entre las más importantes y comunes se encuentran las siguientes:

- Selección o activación, clasificación y medición. La selección Implica la búsqueda selectiva, manipulación y despliegue de los datos originales, en tanto que la clasificación de la información, se realiza de acuerdo a sus atributos. Asimismo, pueden realizarse mediciones sobre la información previamente seleccionada (como el área ocupada por cierto tipo de suelo).
- Superposición de mapas. Implica la intersección de dos o más polígonos al ser superpuestos. Por ejemplo la representación de una región consta de puntos (con coordenadas X,Y) que tienen en común un cierto valor para cada atributo (propiedad geográfica expresada en forma binaria, nominal o de intervalo), donde cada atributo puede concebirse como una capa de información diferente, de tal modo que a partir de la superposición de dichas capas pueden generarse nuevos atributos.
- Interpolación. Es un método a través del cual se establecen valores desconocidos a partir de valores conocidos. Los principales métodos empleados son: métodos de cercanía geométrica (polígonos de Voronoy), métodos estadísticos de promedios ponderados (Kriging), así como las regresiones polinomiales y las series de Fourier.

d) Formato de salidas

Las funciones de este punto se relacionan con la edición para la presentación de los resultados, es decir con los símbolos, textos y patrones. Asimismo, la cartografía resultante puede ser presentada en diferentes escalas, tanto en formato vectorial como en raster.

Aplicación de los sistemas de información geográfica

La aplicación de los SIG es múltiple y potencial, ya que se aplica a cualquier escala, maneja muchas variables y es capaz de superponer diferentes capas de información y analizarlas a través del tiempo. Por ejemplo, es aplicado en la planificación urbana, en el catastro, en el transporte, en el manejo de cuencas y zonas costeras, así como en los estudios de impacto ambiental para la toma de decisiones (Solano y Robinson 1995-1996). Su empleo en la identificación y análisis de los patrones de distribución (Walker 1990), así como en la elección de áreas naturales para su protección (Davis et al., 1990, Bojórquez-Tapia et al., 1995) comienza a tener un gran auge.

La aplicación de los SIG parte de las respuestas que proporcionan, entre las que se encuentran (Aronoff 1991): la representación original de la información, los patrones de conducta de la información y las predicciones sobre el comportamiento de la información.

Además, la colección y generación de la información geográfica es una necesidad social con implicaciones en los ámbitos físico, económico y político. La descripción de la propiedad y uso de la tierra, los inventarios agrícolas, pecuario, forestal, la conservación de áreas naturales o la evaluación de problemas ambientales (por desastres naturales, contaminación), son ejemplos no sólo de su aplicación, sino también de un análisis de costo beneficio para probar su valor en general.

Referencias

- Aronoff S. 1991. *Geographic Information Systems: A Management Perspective*. WDL, Ottawa, Canada.
- Bojórquez-Tapia L., Azuara I. y Ezcurra E. 1995. Identifying conservation priorities in Mexico through geographic information systems and modeling. *Ecological Applications*. 5(1): 215-231.
- Burrough P.A. 1986. Principles of geographical information systems for land resources assessment. *Monographs on Soil and Resources Survey* No. 12. Oxford University Press. 193 pp.
- Conservación Internacional. 1995. CI/SIG: sistema de información geográfica. Versión 3.0. Manual del Usuario. Washington, D.C. EUA.
- Coppock J. T. y Rhind D.W. 1991. The history of GIS. En: Maguire, D.J., Goddchild, M.F., and Rhind, D.W. (eds.). *Geographical Information Systems: Principles and Applications*. Vol. 2 . Longman Scientific and Technical. New York, EUA. pp. 21-43.
- Davis F. W., Stoms D., Estes J. E., Scepán J. y Scott J. M. 1990. An information systems approach to the preservation of biological diversity. *Int. J. Geographical Information Systems*. 4 (1): 55-78.

- Eastman J. R. 1995. Idrisi: Windows version. User's guide. Clark University, Graduate School of Geography. Worcester, Massachusetts, USA.
- Fallas J. 1995-1996. Sistemas de Información Geográfica: Una visión integral. *Rev. Geográfica de América Central*. 32-33: 79-96.
- Goodchild M. F. 1993. The State of GIS for Environmental Problem-Solving. En: Goodchild M. F., Parks B.O., Steayert L. T. (eds.). *Environmental modeling with GIS*. Oxford University Press.
- Ingram I. K. y Phillips W. 1987. Geographic information processing using a SQL-based query language. Proceeding of AutoCarto8. ASPRS/ACSM. Falls Church, pp. 326-335.
- Maguire D. J. 1991. An overview on definitions of GIS. In: Maguire, D.J., Goodchild, M.F., and Rhind, D.W. (eds.). *Geographical Information Systems: Principles and Applications. Vol. 1/Principles*. Longman Scientific and Technical. New York, EUA. pp. 9-20.
- Solano M. A. y Robinson T. 1995-1996. Sistemas de Información Geográfica y algunas aplicaciones. *Rev. Geográfica de América Central*. 32-33: 79-96.
- Walker P. 1990. Modeling wildlife distributions using a geographic information system: kangaroos in relation to climate. *Journal of Biogeography* 17:279-289.

Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales,
editado por la Dirección General de Estudios de Posgrado, se
terminó de imprimir en abril del 2004 en los talleres de

El tiraje consta de 1000 ejemplares.

Se utilizó los tipos: Times New Roman y Switzerland lite.

Los interiores se imprimieron en papel bond de 90 grs.

Diseño de portada, interiores y formación: Marco Antonio
Pérez Landaverde.