



# SISTEMAS ECOLÓGICOS

de la Cuenca Amazónica de Perú y Bolivia

Clasificación y mapeo

Publicado por

  
NatureServe

# Sistemas Ecológicos

## de la Cuenca Amazónica de Perú y Bolivia

Clasificación y mapeo

Josse, C., G. Navarro, F. Encarnación, A. Tovar, P. Comer, W. Ferreira, F. Rodríguez, J. Saito, J. Sanjurjo, J. Dyson, E. Rubin de Celis, R. Zárate, J. Chang, M. Ahuite, C. Vargas, F. Paredes, W. Castro, J. Maco  
y F. Reátegui





NatureServe es una organización sin fines de lucro dedicada a proveer información y herramientas útiles para guiar acciones de conservación eficientes.



El Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana es una entidad autónoma, gubernamental, con jurisdicción sobre la cuenca amazónica del Perú, cuya misión es contribuir a mejorar la calidad de vida de los pueblos amazónicos a través de la investigación dirigida al desarrollo sostenible y la conservación de los recursos naturales de la región amazónica.



El Centro de Datos para la Conservación de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina es una unidad de manejo de información acerca de la diversidad biológica y ecológica del Perú. Identifica las especies de fauna y flora, así como los ambientes terrestres y acuáticos escasos, vulnerables o de distribución geográfica restringida.

#### Fotografía

Gonzalo Navarro, IIAP, CDC-UNALM, NatureServe,

Hugo Arnal, Walter H. Wust

Fotografía de portada

Frans Lanting (carátula, río Tambopata);

Walter H. Wust (contracarátula, río Amiguillo)

Coordinación Editorial

Cristiane Nascimento

Producción editorial

Wust Ediciones / [www.walterwust.com](http://www.walterwust.com)

Impresión

Gráfica Biblos

© NatureServe 2007

ISBN: 0-9711053-4-0

Los textos pueden ser utilizados total o parcialmente citando la fuente.

Cítese como:

Josse, C., G. Navarro, F. Encarnación, A. Tovar, P. Comer, W. Ferreira, F. Rodríguez, J. Saito, J. Sanjurjo, J. Dyson, E. Rubin de Celis, R. Zárate, J. Chang, M. Ahuite, C. Vargas, F. Paredes, W. Castro, J. Maco y F. Reátegui. 2007. Sistemas Ecológicos de la Cuenca Amazónica de Perú y Bolivia. Clasificación y mapeo. NatureServe. Arlington, Virginia, EE UU .

Esta publicación ha sido financiada por



# Índice de autores

## NatureServe

Carmen Josse  
Patrick Comer  
Jessica Dyson

## Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP)

Filomeno Encarnación  
Fernando Rodríguez  
José Sanjurjo  
Ricardo Zárate  
Manuel Ahuite  
Flor de Azucena Paredes  
Walter Castro  
José Maco  
Francisco Reátegui

## Centro de Datos para la Conservación Universidad Nacional Agraria La Molina (CDC-UNALM)

Antonio Tovar  
José Saito  
Ethel Rubin de Celis  
Juan Chang  
Carlos Vargas

## Consultores Independientes

Gonzalo Navarro  
gonzalonavarrosanchez@gmail.com  
Wanderley Ferreira  
rimowa@supernet.com.bo

## NatureServe

1101 Wilson Boulevard, 15th Floor  
Arlington, VA 22209, EEUU  
www.natureserve.org

## IIAP

Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana  
Av. Abelardo Quiñones Km. 2.5  
Apartado Postal 784  
Loreto, Perú  
<http://www.iiap.org.pe>

## CDC-UNALM

Centro de Datos para la Conservación  
Dpto. Manejo Forestal  
Facultad de Ciencias Forestales  
Universidad Nacional Agraria La Molina  
Apto. 456, Lima 100, Perú  
<http://cdc.lamolina.edu.pe/>

# Agradecimientos

Estamos profundamente en deuda con la Fundación Gordon y Betty Moore por el apoyo económico y la guía técnica durante este proyecto. Los autores agradecemos el apoyo recibido para esta iniciativa por parte de varias organizaciones que generosamente han facilitado sus datos. Entre ellas Herencia (Cobija, Pando), CISTEL y el Centro de Biodiversidad y Genética (Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba), The Nature Conservancy, FAN y WWF-Bolivia. Igualmente, el apoyo de conocidos botánicos y especialistas en la vegetación de Perú y Bolivia, quienes a través de diversos talleres y en el campo aportaron sus conocimientos para el desarrollo de la clasificación de sistemas ecológicos: Stephan Beck, Aniceto Daza, Washington Galiano, Blanca León, Percy Núñez, Carlos Reynel, Isidoro Sánchez, Oscar Tovar, Alfredo Tupayachi, Rodolfo Vásquez, Kenneth Young y Percy Zevallos. Finalmente, queremos agradecer a aquellos investigadores que facilitaron sus datos de inventarios, los que sirvieron para aclarar conceptos y caracterizar mejor a los sistemas ecológicos: Nigel Pitman, Tim Baker, Oliver Phillips y Mark Higgins; y a Constantino Aucua de Ecoan quien nos proporcionó fotos del paisaje de la Cordillera del Cóndor, para que podamos usarlas como un medio de validación.





Selva central, Perú. Jennifer Swenson

# Contenido

<b>ANTECEDENTES Y OBJETIVOS</b>	<b>6</b>
<b>ÁREA DE ESTUDIO</b>	<b>7</b>
<b>1. MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO</b>	<b>11</b>
1.1 El sistema de clasificación	11
1.2 Otros enfoques de clasificación y su compatibilidad	13
1.3 Metodología para el mapeo de sistemas ecológicos	17
1.3.1 Aspectos comunes	17
1.3.2 Descripción metodológica por región de mapeo	18
1.3.2.1. Mapa de sistemas ecológicos de las Yungas peruanas	18
• Modelamiento cartográfico de los sistemas ecológicos de las Yungas peruanas	18
• Ampliación del área de estudio y validación del mapa modelado de Yungas peruanas	21
1.3.2.2. Mapa de sistemas ecológicos de la Amazonía peruana	26
• Mosaico de imágenes e información espacial	26
• Elaboración del mapa de sistemas ecológicos	28
• Muestreo en campo	31
1.3.2.3. Mapa de sistemas ecológicos de las Yungas, la Amazonía y las Sabanas del Beni de Bolivia	37
• Mosaicos de imágenes e información espacial	37
• Elaboración del mapa de sistemas ecológicos	37
1.3.3 Evaluación de la precisión temática del mapa	40
<b>2. RESULTADOS</b>	<b>43</b>
2.1 Estadísticas espaciales y distribución de los sistemas ecológicos en el área de estudio	43
2.2 Resultados del muestreo de campo	45
2.2.1 Resultados de las colecciones botánicas	46
2.3 Grado de protección de los sistemas ecológicos en el sistema de áreas protegidas del área de estudio	49
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>50</b>
<b>ANEXO 1 Los sistemas ecológicos</b>	<b>53</b>
<b>ANEXO 2 Formularios de campo</b>	<b>91</b>

# Antecedentes y objetivos

NatureServe posee una larga experiencia en el desarrollo de clasificaciones ecológicas y de vegetación, debido a que en su metodología de patrimonio natural, las comunidades vegetales naturales son un elemento importante de la biodiversidad, sobre el cual se puede reportar riqueza, endemismo, rareza, estado de conservación, entre otras caracterizaciones que aportan a un entendimiento del estado de la biodiversidad en una localidad determinada.

Por otro lado, con el énfasis dado últimamente por el Convenio de Diversidad Biológica al enfoque por ecosistemas, la planificación para la conservación y el uso sostenible de los recursos naturales requieren de mapas de ecosistemas que utilicen una clasificación unificada y con criterios consistentes a través de las fronteras políticas, y que además tengan un grado de resolución conceptual y espacial que sea representativo de la enorme diversidad biológica y ecosistémica del Neotrópico, en este caso.

Considerando estos antecedentes, y frente a la necesidad de desarrollar para todo el continente una unidad de clasificación estándar que facilite las aplicaciones de mapeo a escalas intermedias, empezamos en el año 2001 a desarrollar un esquema para la clasificación de sistemas ecológicos (ver Sección 1.1). Desde el momento que tuvimos una versión preliminar con las definiciones de 750 sistemas ecológicos terrestres para América Latina y el Caribe, la misma se ha venido aplicando en la producción de mapas de ecosistemas de algunas ecorregiones y complejos ecorregionales de Centro, Sudamérica y el Caribe.

Estas aplicaciones han permitido no solo afinar la clasificación, sino también ir experimentando y mejorando el enfoque de mapeo, adaptándolo en la medida de los recursos disponibles en cada caso. Estudios que usan ecorregiones como el contexto geográfico para ordenamiento y planificación espacial se han vuelto comunes en los últimos años y debido a su grano más fino, la clasificación estandarizada de sistemas ecológicos puede cumplir un papel importante en estos estudios regionales para determinar el estado de conservación de un ecosistema a lo largo de todo su rango de distribución, por ejemplo. Ya que las unidades de sistemas ecológicos se definen con un énfasis en características ambientales y procesos dinámicos, también se prestan bien para evaluar el estado y evolución de varios fenómenos ecológicos, desde las tendencias en la conversión del uso del suelo y los hábitats naturales, a la creación de métricas reproducibles sobre la fragmentación del paisaje.

Cuando empezamos a desarrollar la propuesta para el proyecto "Mapeo de Sistemas Ecológicos y Áreas de Endemismo para

la Planificación de la Conservación en la Cuenca Amazónica del Perú y Bolivia" decidimos que utilizaríamos la distribución de especies endémicas y de sistemas ecológicos como la información clave para determinar vacíos de conservación en el área de estudio, que comprenden las estribaciones orientales de los Andes y la llanura amazónica adyacente de Perú y Bolivia. En cuanto a la cubierta vegetal de esta región, estaban en marcha otros procesos de mapeo, muy compatibles con nuestro enfoque, los cuales optamos por integrar a nuestra propuesta bajo la consigna de desarrollar una clasificación y un mapa unificados para toda el área de estudio.

Es así que con la participación del Centro de Datos para la Conservación de la Universidad Nacional Agraria La Molina (CDC-UNALM) y el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP) en el Perú, y el equipo de Gonzalo Navarro y Wanderley Ferreira en Bolivia, nos propusimos cartografiar a una escala de 1:250.000 las 84 clases de sistemas ecológicos identificadas en el área de estudio, que se representan con una breve descripción y una foto en el Anexo 1.

Aparte de los análisis de vacíos o la identificación de áreas prioritarias, son varios los objetivos para desarrollar un mapa con una clasificación estandarizada de sistemas ecológicos:

- Promover el uso de información sobre sistemas ecológicos en los procesos de planificación regional.
- Identificar mediante análisis espaciales, los sistemas ecológicos raros o vulnerables.
- Investigar sobre las relaciones especie-hábitat, tanto de especies animales como vegetales.
- Aportar en el conocimiento de la cobertura vegetal natural actual y potencial, facilitando de esta forma procesos de restauración ecológica y una interpretación adecuada sobre la potencialidad natural vegetal de cada territorio.
- Implementar programas de monitoreo y evaluación de la integridad ecológica.

Los países de América Latina cuentan con mapas nacionales de vegetación que han sido realizados con diferentes criterios, a diferentes escalas y con variados grados de precisión y validación en campo. Esta situación impide ejecutar todas las aplicaciones listadas arriba, las cuales son necesarias para la conservación de la biodiversidad, los procesos que la sustentan y la gestión de los recursos naturales. Por lo tanto para NatureServe es una prioridad contar con un mapa estandarizado a través de todo el Continente.



# Área de estudio

El área de estudio comprende la cuenca hidrográfica del río Amazonas en Perú y Bolivia, tomada desde las cabeceras de los ríos afluentes en la vertiente oriental de los Andes hasta las fronteras políticas de ambos países por el norte y este. En este espacio geográfico se usó el límite altitudinal del bosque continuo ubicado aproximadamente a los 3.500 msnm, como criterio específico para la delimitación del área en el oeste. Entre otras, la razón principal para no utilizar la divisoria de aguas en la delimitación del área de estudio, fue evitar incluir comunidades vegetales y especies endémicas representativas de la región de la Puna, cuyo rango de distribución se extiende considerablemente hacia el oeste de la divisoria de aguas.

El objetivo de este proyecto fue desarrollar mapas de distribución de especies endémicas y sistemas ecológicos de una de las regiones más diversas del Planeta: las estribaciones de los Andes tropicales y el bosque amazónico adyacente. A partir de la publicación sobre las ecorregiones terrestres de América Latina y el Caribe (Dinerstein et al. 1995), la porción andina del área de estudio se conoce de manera general como Yungas, uso que ha simplificado considerablemente un concepto de origen bastante más complejo, y su límite norte coincide aproximadamente con el curso del río Marañón.

Inicialmente se consideró usar este río como límite noroeste para el área de estudio, con el propósito de incluir en el proyecto solo regiones biogeográficas completas. El área al norte del río Marañón se caracteriza por los sistemas subhúmedos y xéricos del valle del Marañón y del Chamaya, que gracias al descenso de la cordillera de los Andes en la zona aledaña de la Depresión de Huancabamba (2.145 msnm), abarcan distribuciones tanto al norte como al sur de este hito, con claras relaciones biogeográficas con los ecosistemas secos presentes en la vertiente occidental de la cordillera (Weigend 2002; Duellman 1979, en: Weigend 2002). A pesar de reconocer que se iba a incluir parcialmente una región biogeográfica diferente (Amotape-Huancabamba), finalmente se optó por llevar el límite norte del mapa de sistemas ecológicos hasta la frontera política con Ecuador, sin embargo desde el punto de vista de los estudios de endemismo, se decidió excluir especies representantes de esta área biogeográfica para enfocarse en el componente del proyecto en la compleja región de los bosques húmedos de la vertiente oriental o Yungas. En este contexto, se incluye a las Yungas bolivianas, estableciendo el límite sur de la zona andina del mapa, aproximadamente a los 18° de latitud sur, en el llamado codo de Santa Cruz. En este punto, además de ocurrir un cambio en la orientación de la cordillera

que pasa a ser norte-sur franco, también se encuentra el límite entre dos provincias biogeográficas, la de Yungas y la Tucumano-Boliviana (Navarro y Maldonado 2002), con el consecuente cambio en la biocenosis.

En el extremo sureste del área de estudio, se da una situación similar a la del extremo noroeste por causa de la transición gradual de los bosques amazónicos hacia los bosques estacionalmente secos de la provincia biogeográfica Chiquitana de Bolivia y Cerrado brasileiro. Si bien la región de la Chiquitania boliviana es parte de la cuenca amazónica, la decisión fue excluir la del estudio por razones biogeográficas.

Las sabanas amazónicas de Bolivia y sur del Perú se incluyeron en el área de estudio ya que forman parte de las cuencas de los ríos Heath, Beni, Mamoré y Guaporé que ocupan una gran proporción de la cuenca hidrográfica del Amazonas en Bolivia.

El área de estudio comprende 1.249.281 km<sup>2</sup> (Fig. 1) en los que se han identificado 84 sistemas ecológicos distintos, lo cual se explica por el extenso gradiente latitudinal y la gran diversidad de ambientes o regiones ecológicas incluidas en esta geografía, tales como: laderas montañosas andinas húmedas y nubladas, valles interandinos xéricos, mesetas sedimentarias y colinas del subandino, la penillanura amazónica con sus llanuras aluviales inundables, afloramientos rocosos de diverso origen y el complejo mosaico de sabanas drenadas, anegables y bosques de galería, propios de la enorme llanura aluvial de la cuenca de los ríos Mamoré y Beni.

En conjunto estos ambientes cubren la mayoría de bioclimas tropicales, y se encuentran sobre las más variadas geomorfologías y geologías. Vale la pena remarcar en este contexto algunas de las características más sobresalientes de esta sección de los Andes y la Amazonía.

## Andes

Aquí llama la atención la fuerte tendencia noroeste-sureste, y su íntima asociación a un cinturón pre-cordillera subandina que se levanta al este de manera discontinua y hace que los ríos mayores que bajan de la Cordillera Oriental no tengan un recorrido típico oeste este, sino que se desvíen hacia el norte, formando amplios valles paralelos a la orientación de la cordillera, antes de fluir hacia la Amazonía. Además, la altura relativamente baja de este cinturón subandino, hace que las cimas más orientales tengan ambientes muy particulares, donde especies y ecosistemas propios de los Andes y la Amazonía forman un mosaico con valles



aluviales de ríos meándricos que ocurren sobre los 1.000 msnm y se encuentran rodeados por laderas cubiertas de bosques nublados.

Esta fisiografía tiene también consecuencias en el clima y la ubicación y extensión de los valles secos. El efecto de sombra de lluvia, resultado de la interacción entre los patrones de circulación de los vientos y la topografía, ha sido la explicación más aceptada y utilizada para justificar la presencia de los valles secos, sin embargo la presencia de ambientes xéricos en el lecho de cañones profundos, parece explicarse por un fenómeno adicional que involucra la interacción de la topografía con el ciclo diario del calentamiento solar (Killeen et al., en prensa).

Finalmente, otra característica es la extrema pendiente de las laderas, donde ocurren cambios altitudinales de tres o cuatro mil metros en distancias horizontales de 50 o 100 km.

### Amazonía

En cuanto a la Amazonía, el área de estudio incluye tres grandes unidades o provincias biogeográficas amazónicas: Amazonía Oeste, Amazonía Suroeste y Amazonía Centro-Sur. Esta zonificación ha sido reconocida y descrita en sus ámbitos por diversos autores (Ducke & Black 1953, Rizzini 1963, Hueck 1966, Prance 1973, 1977, Rivas Martínez & Navarro 1994), y está asociada principalmente al clima, que

se vuelve progresivamente más estacional a partir de Pucallpa, en Perú, hacia el sur y luego hacia el centro-sur, con un déficit de agua durante una parte del año, que se expresa en la llanura y no así en el piedemonte andino. Adicionalmente al aspecto climático, las diferencias entre el sector oeste y el suroeste de la Amazonía se expresan en territorio peruano en la extensión de las llanuras de inundación, que en el norte (Amazonía occidental) son mucho más grandes que en el sur y que además tienen períodos de vaciante y creciente distintos por la influencia de los regímenes de precipitación que son diferentes entre el norte y el sur. Otros elementos relevantes del paisaje se deben a la influencia de la cordillera de los Andes, que hace predominar las colinas altas y montañas bajas en el borde occidental, y el paisaje de colinas bajas, planicies y terrazas con diversos grados de drenaje en el oriental. Un efecto adicional del levantamiento de los Andes es la diversidad de sedimentos que corresponden a diversos ambientes de deposición, que varían desde depósitos con influencia marina anteriores al levantamiento, hasta depósitos fluviales y lacustres.

Por último, cabe resaltar que la Amazonía boliviana conforma el extremo sur de la región Amazónica y por tanto tiene el carácter biogeográfico de transición hacia las provincias del Cerrado y la Chiquitania, caracterizado por el levantamiento de la escuda precámbrica que ya se manifiesta en el noreste de Bolivia, cerca de la frontera con Brasil.

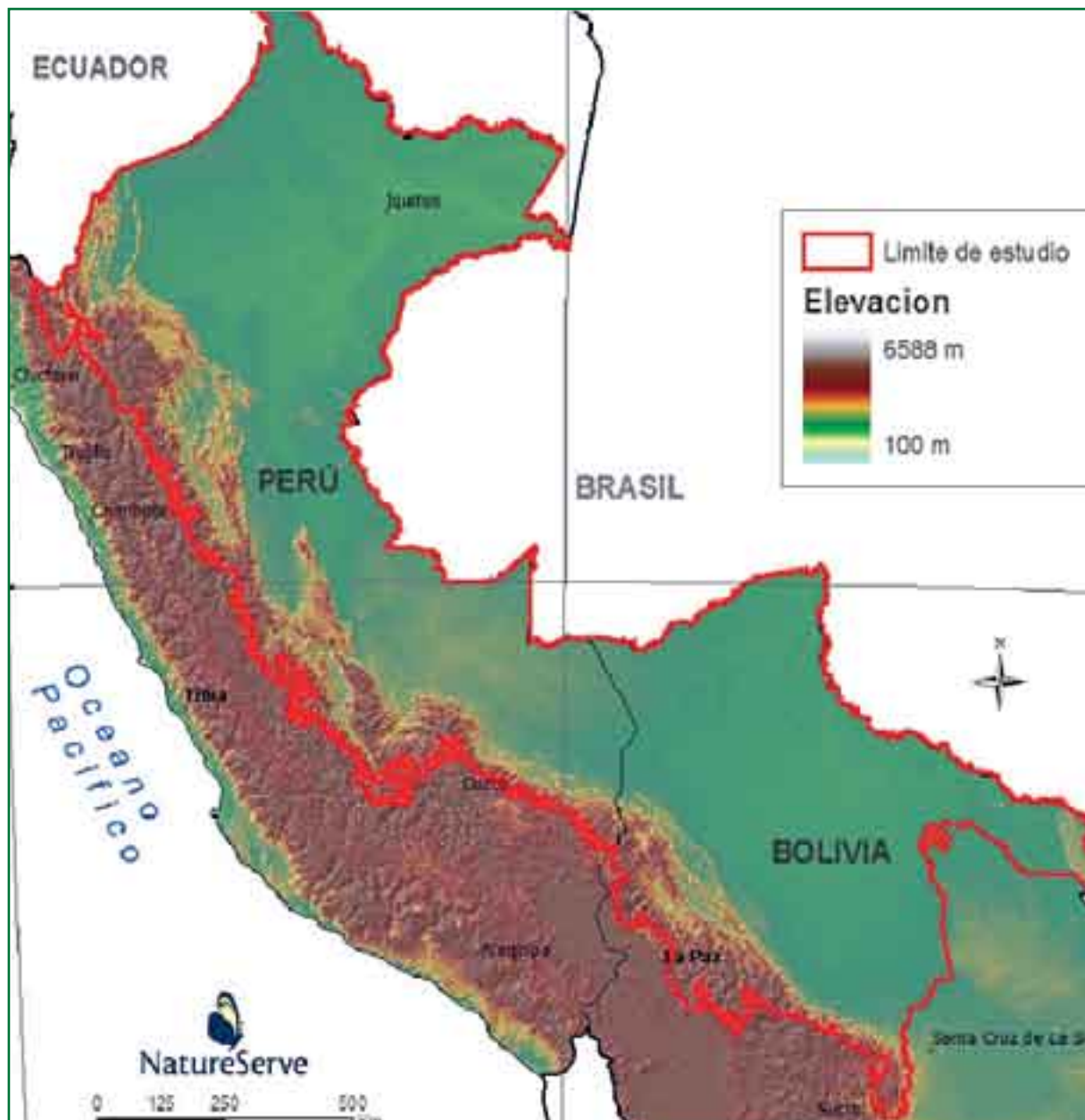


Figura 1. Área del mapa de sistemas ecológicos del proyecto Mapeo de sistemas ecológicos y especies endémicas en apoyo a la planificación para la conservación de la cuenca alta del río Amazonas en Perú y Bolivia.



Parque Nacional Mantu, Madre de Dios, Walter H. Wüst



# 1. Marco conceptual y metodológico

## 1.1. EL SISTEMA DE CLASIFICACIÓN

La experiencia adquirida en el mapeo de vegetación en Norteamérica, les sirvió a Nature Serve para comprender que la mejor forma de representar la diversidad de las comunidades vegetales a escalas medias, es mediante la combinación de parámetros del ambiente físico y de la fisonomía de la vegetación. De igual forma, aprendimos que el conjunto de criterios que mejor discriminan las comunidades va a variar según el paisaje. Así por ejemplo, en una zona montañosa los pisos altitudinales y el bioclima son criterios determinantes, mientras que en una llanura aluvial, la topografía, la hidrografía y la dinámica de inundación son los factores que determinan la distribución de las comunidades. Esto parece obvio, pero a menudo los esquemas de clasificación son bastante rígidos en el uso de un grupo de criterios, en el ánimo de conservar la consistencia. Es con base en esta experiencia que Nature Serve desarrolló la Clasificación Internacional de Sistemas Ecológicos Terrestres.

Los sistemas ecológicos terrestres se definen como grupos de comunidades vegetales que tienden a ocurrir en el paisaje debido a su relación con factores comunes y determinantes como procesos ecológicos, sustratos y/o gradientes ambientales. Un determinado sistema se manifiesta a escalas geográficas intermedias de decenas a miles de hectáreas y debe persistir por lo menos 50 años. Esta escala temporal permite incorporar la dinámica sucesional típica al concepto de cada unidad. Con estas escalas temporales y espaciales delimitando el concepto de los sistemas ecológicos, integramos luego factores ecológicos múltiples –o parámetros diagnósticos– para definir cada unidad. Estos factores ecológicos múltiples se evalúan y combinan de diferentes maneras para explicar los patrones espaciales de la vegetación.

Por otro lado, al crear unidades que van a constituir elementos para la planificación de la conservación, nuestro objetivo es que estas unidades representen lo mejor posible diferentes conjuntos de biota, por este motivo el criterio de composición florística juega también un rol determinante en nuestro enfoque. Dada la enorme diversidad de especies en el Neotrópico y la relativa escasez de información florística sistematizada, hacemos uso de las diferentes clasificaciones fitogeográficas existentes a escalas de región y provincia florísticas (Udvardy 1975, Prance 1977, Cabrera y Willink 1980, Takhtajan 1986, Rizzini 1997, Rivas Martínez y Navarro 1994, Rivas Martínez 2000) para separar sistemas que por lo demás comparten el mismo tipo de paisaje, ambiente físico y procesos ecológicos.

Otra meta de la clasificación de sistemas ecológicos, es captar en las unidades el efecto de los procesos ecológicos. Es así que comunidades que sufren el impacto estacional de las crecidas del río y se encuentran alternando permanentemente entre estados de sucesión temprana a media, conforman un sistema distinto de otro formado por bosques maduros que pese a estar más alejados del río tienen algún grado de inundación estacional debido a la topografía.

Otro factor de esta aproximación es la cuestión del patrón espacial. En nuestra clasificación, un sistema que conforma la matriz, extendiéndose por kilómetros cuadrados, tiene el mismo lugar que un sistema de distribución muy restringido, resultado de la floración puntual de algún sustrato, el cual determina la presencia de una comunidad muy particular.

Finalmente, la clasificación de sistemas ecológicos se basa en la cobertura vegetal actual, no potencial. En cuanto al proceso, la clasificación se desarrolló utilizando el continente entero, como el marco físico para la selección de criterios de estratificación espacial, tales como bioclima, geoformas, geomorfología, hidrogeomorfología, a los que se combinó con unidades fitogeográficas como una manera de representar el componente biótico con sus discontinuidades florísticas. Estos criterios se usaron a diferentes niveles de resolución espacial, con lo que se obtuvo un primer nivel más general de unidades a las que llamamos Divisiones Ecológicas (Fig. 2). Ellas prestaron un contexto espacial más manejable como para identificar y aplicar a un nivel de mayor resolución espacial el conjunto de criterios o parámetros que mejor explican la distribución de las comunidades naturales.

La vegetación juega un papel preponderante –aunque no único– en este enfoque, pues por un lado su expresión fisonómica o estructural es captada por los sensores remotos que son la fuente de información necesaria para el mapeo de grandes áreas y por otro lado refleja la respuesta biológica a los diferentes procesos ecológicos y características ambientales que se dan en un sitio específico.

Esta clasificación se llevó a cabo con el aporte de numerosos especialistas en vegetación y utilizando cientos de referencias bibliográficas y cartográficas, que permitieron identificar y describir 758 clases de sistemas ecológicos desde México hasta Tierra del Fuego (Josse et al. 2003). Esta clasificación siempre está en proceso de revisión y se afina y enriquece con





Figura 2. Mapa de Divisiones Ecológicas de América Latina y el Caribe.

cada ejercicio de mapeo que se lleva a cabo, generalmente a escalas ecorregionales y multinacionales.

La leyenda representada en el mapa de sistemas ecológicos de la cuenca amazónica de Perú y Bolivia es el resultado del afinamiento de la lista de sistemas ecológicos identificados para esta región como parte de la clasificación desarrollada para todo el hemisferio (Cuadro 1). Este ajuste ha implicado la creación de algunas nuevas unidades, la eliminación de otras y el afinamiento de conceptos. Gracias a la aplicación consistente de criterios establecidos y del marco conceptual adoptado para la clasificación,

la lista final de sistemas ecológicos para la región del proyecto, es parte junto con sus respectivas descripciones, de la clasificación de sistemas ecológicos terrestres de América Latina y el Caribe <<http://www.natureserve.org/getData/LACecologyData.jsp>>.

La representación espacial de esta clasificación a priori constituye un proceso relativamente independiente donde se buscan los medios más idóneos para delimitar las unidades identificadas. Según la escala espacial que se escoja y la información espacial disponible, esto puede originar ajustes de leyenda, en el sentido de que hay sistemas que no pueden

representarse o existe la necesidad de mapear complejos, puesto que en determinados sitios del paisaje las condiciones físicas originan mosaicos de sistemas naturales que es imposible separar. Este ha sido el caso en buena parte de las sabanas amazónicas del Beni y en sistemas riparios de la Amazonía.

## 1.2 OTROS ENFOQUES DE CLASIFICACIÓN Y SU COMPATIBILIDAD

A nivel de sistemas internacionales de clasificación aplicados en América del Sur y/o Latinoamérica que hayan resultado en mapas de cobertura vegetal, tres son los más importantes: la clasificación de zonas de vida de Holdridge, basada en parámetros bioclimáticos; la clasificación fisonómica-ecológica de UNESCO (1973); y el mapa de vegetación de Hueck y Seibert (1988). La primera es un esquema de clasificación de vegetación potencial que se basa en los efectos de la precipitación, temperatura y evapotranspiración sobre la vegetación (Holdridge, 1967) y que fue aplicada por J. Tosi para desarrollar el Mapa Ecológico de Perú, publicado originalmente a escala 1:1.000.000 (Tosi, 1957). En Bolivia también fue publicado un mapa con el uso de este esquema (Unzueta, 1975).

El mapa de Sudamérica de UNESCO se publicó en 1981 a una escala de 1:5.000.000 y se basa en el sistema de Clasificación Internacional y Cartografía propuesto por UNESCO (1973). Aparte del mapa publicado por UNESCO, este sistema de clasificación ha sido utilizado con ciertas adaptaciones o solo como referencia, para diversos mapas de cobertura vegetal, debido a que los criterios de estructura y fenología de la vegetación que utiliza son convenientes para interpretar las imágenes de los sensores remotos.

El mapa de Sudamérica de Hueck y Seibert (1988) se publicó a escala 1:8.000.000 y su leyenda es una combinación de formaciones vegetales con una regionalización basada en patrones fitogeográficos que, considerando los recursos técnicos y conocimientos a la fecha, constituye una síntesis admirable.

Luego están algunos mapas digitales producidos recientemente por diversos grupos de investigadores, a resoluciones espaciales muy gruesas acordes con los objetivos de uso de esta información. Entre ellos, el mapa de vegetación de América del Sur del Joint Research Centre (Eva et al. 2002) se destaca por tener una leyenda bastante detallada considerando la resolución espacial de 1 km a la que fue producido.

### Perú

En Perú existen dos mapas oficiales de cobertura vegetal para todo el territorio nacional: el Mapa Ecológico del Perú (ONERN, 1976) y el Mapa Forestal (INRENA, 1995). El primero aplica el esquema de clasificación de Holdridge (1967) de vegetación potencial o zonas de vida, basado en los

efectos de la precipitación, temperatura y evapotranspiración sobre la vegetación. En tanto, el mapa forestal clasifica las formaciones vegetales con base en un sistema ad hoc que incorpora conceptos climáticos, fisonómicos, fisiográficos y florísticos, que son aplicados al interpretar imágenes Landsat.

Las formaciones vegetales identificadas en el Mapa Forestal, en términos generales, pueden tener algún nivel de correspondencia con los sistemas ecológicos pero no se trata de una correspondencia específica, debido a la resolución tanto conceptual como espacial, que en el caso del mapa forestal es mucho más gruesa.

Además de estos dos mapas nacionales, existían mapas de las dos grandes regiones incluidas en este proyecto, la andina y la selva baja o llanura amazónica. La región andina estaba cubierta por mapas de sistemas ecológicos desarrollados en el marco de dos proyectos de Planificación para la Conservación Ecorregional, auspiciados por The Nature Conservancy; uno para la Ecorregión Cordillera Real Oriental, que fue realizado por la Fundación Ecuatoriana de Estudios Ecológicos (EcoCiencia) y que abarca una extensión relativamente pequeña de territorio peruano al norte del río Marañón. El segundo corresponde al mapa de sistemas ecológicos terrestres de las Yungas peruanas, ejecutado por el Centro de Datos para la Conservación (CDC-UNALM). Ambos mapas han sido mejorados en el contexto del presente proyecto gracias a la toma de muestras de campo para validación y al ajuste del mapa bioclimático que sirvió como insumo.

En cuanto a la selva baja, el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP) había trabajado en la elaboración de un mosaico de imágenes Landsat TM (BIODAMAZ, 2004) que fue visualmente interpretado en términos de los 19 tipos de vegetación natural identificados y descritos por F. Encarnación para la Amazonía peruana (BIODAMAZ, 2004b). Si bien no se trata de un mapa, fue un importante insumo para la elaboración del mapa de sistemas ecológicos, tanto por el uso del mosaico, como por el aporte que significaron para la clasificación de sistemas ecológicos, los tipos de vegetación descritos por Encarnación (BIODAMAZ, 2004b).

### Bolivia

En Bolivia también existen mapas forestales a nivel nacional y al igual que en el caso de Perú, la clasificación aplicada es ad hoc y se ajusta a los objetivos de uso de estos productos, lo que significa que la resolución conceptual de las clases es bastante gruesa.

En 1994 fue publicado un mapa de vegetación de Bolivia (Ribera et al. 1994) y de ahí en adelante se han producido otras aproximaciones de clasificación de unidades ecológicas o ecorregiones que más que mapas de cobertura en el

sentido formal, corresponden a ejercicios de regionalización ecológica del territorio nacional.

constituyen productos de consultorías anteriores, realizados en áreas protegidas o áreas de intervención de proyectos.

Está por publicarse el nuevo mapa de vegetación de Bolivia, trabajado a escala 1:250.000 donde la unidad de mapeo es la comunidad vegetal (serie de vegetación). Esta unidad es de mayor resolución conceptual que los sistemas ecológicos, pero parte de un enfoque muy parecido y por tanto su correspondencia con la clasificación de sistemas ecológicos se logra a partir de la agrupación de unidades de serie de vegetación. Este mapa ha sido elaborado por G. Navarro y W. Ferreira, con el apoyo de The Nature Conservancy y NatureServe. Insumos existentes que han facilitado la producción de este mapa se listan a continuación y

- Mapa de vegetación del Corredor Amboró/Madidi (WWF-CISTEL), que abarca toda el área de las Yungas y la parte más meridional del Beni
- Mapa de vegetación del Departamento de Pando (WWF-HERENCIA)
- Mapa de vegetación del Parque Nacional Amboró (FAN-WCS)
- Mapa de vegetación del norte del Parque Nacional Isiboro-Secure, Beni (CIDDEBENI)

Cuadro 1. Sistemas ecológicos identificados en la cuenca amazónica de Perú y Bolivia

VEGETACIÓN DE TIERRA FIRME		
<b>1. Bosques húmedos andinos</b>		
CES409.920	Bosque de Polylepis altoandino pluvial de Yungas	Pe, Bo
CES409.043	Bosque altimontano pluvial de Yungas	Pe, Bo
CES409.044	Bosque altimontano pluviestacional de Yungas	Pe, Bo
CES409.045	Bosque de Polylepis altimontano pluvial de Yungas	Pe, Bo
CES409.046	Bosque de Polylepis altimontano pluviestacional de Yungas	Pe, Bo
CES409.105	Bosque altimontano siempreverde de los Andes del Norte	Pe
CES409.050	Bosque montano pluvial de Yungas	Pe, Bo
CES409.110	Bosque montano pluvial de los Andes del Norte	Pe
CES409.913	Bosque montano pluvial de la Cordillera del Cóndor	Pe
CES409.051	Bosque montano pluviestacional húmedo de Yungas	Pe, Bo
CES409.197	Bosque de Pino de Monte montano Boliviano-Tucumano	Bo
CES409.903	Bosque montano bajo pluvial de la Cordillera del Cóndor	Pe
CES409.054	Bosque basimontano pluviestacional húmedo de Yungas	Pe, Bo
CES409.048	Bosque y palmar basimontano pluvial de Yungas	Pe, Bo
<b>2. Bosques húmedos amazónicos</b>		
CES408.565	Bosque siempreverde subandino del oeste de la Amazonía	Pe
CES408.572	Bosque del piedemonte del oeste de la Amazonía	Pe
CES408.543	Bosque siempreverde subandino del suroeste de la Amazonía	Pe, Bo
CES408.545	Bosque siempreverde estacional subandino del suroeste de la Amazonía	Pe, Bo
CES408.570	Bosque del piedemonte del suroeste de la Amazonía	Pe, Bo
CES408.523	Bosque siempreverde de la penillanura del oeste de la Amazonía	Pe
CES408.548	Bosque de serranías aisladas del oeste de la Amazonía	Pe
CES408.544	Bosque siempreverde estacional de la penillanura del suroeste de la Amazonía	Pe, Bo
CES408.549	Bosque con bambú del suroeste de la Amazonía	Pe, Bo
CES408.518	Bosque de palmas del centro-sur de la Amazonía	Bo
CES408.566	Bosque de serranías aisladas del centro-sur de la Amazonía	Bo
CES406.235	Bosque siempreverde estacional amazónico del Escudo Precámbrico Chiquitano	Bo
<b>3. Bosques secos y matorrales xéricos andinos</b>		
CES409.921	Bosque montano pluviestacional subhúmedo de Yungas	Pe, Bo
CES409.075	Bosque y arbustal montano xérico interandino de Yungas	Pe, Bo

Bo = Bolivia; Pe = Perú

CES409.057	Matorral xérico interandino de Yungas	Pe
CES409.117	Bosque basimontano pluviestacional subhúmedo de Yungas del norte	Pe
CES409.053	Bosque basimontano pluviestacional subhúmedo de Yungas del sur	Pe, Bo
CES409.207	Bosque basimontano pluviestacional subhúmedo Boliviano-Tucumano	Bo
CES409.079	Bosque y arbustal basimontano xérico de Yungas del norte	Pe
CES409.056	Bosque basimontano xérico de Yungas del sur	Pe, Bo

#### 4. Bosques secos chiquitanos

CES406.238	Bosque subhúmedo semideciduo de la Chiquitania y el Beni	Bo
CES406.240	“Cerradão” de la Chiquitania y el Beni	Bo

#### 5. Vegetación azonal andina (edáficamente condicionada)

CES409.912	Arbustal saxícola montano alto de la Cordillera del Cóndor	Pe
CES409.914	Bosque pluvial sobre mesetas de la Cordillera del Cóndor	Pe
CES409.039	Arbustal y herbazal sobre mesetas subandinas orientales	Pe
CES409.049	Bosque bajo de cresta pluviestacional de Yungas	Pe, Bo
CES409.067	Vegetación saxícola montana de Yungas	Pe, Bo
CES409.195	Bosque bajo edafo-xerófilo montano Boliviano-Tucumano	Bo

#### 6. Vegetación azonal amazónica (edáficamente condicionada)

CES408.546	Bosque azonal semideciduo de colinas del oeste de la Amazonía	Pe
CES408.562	Vegetación esclerófila de arenas blancas del oeste de la Amazonía	Pe
CES408.554	Matorral saxícola de colinas y serranías del centro-sur de la Amazonía	Bo
CES408.557	Sabana del centro-sur de la Amazonía transicional al Cerrado	Bo

#### 7. Vegetación herbácea-arbustiva andina

CES409.063	Vegetación acuática y palustre altoandina y altimontana de Yungas	Pe, Bo
CES409.123	Pajonal altimontano y montano paramuno	Pe
CES409.124	Pajonal arbustivo altimontano paramuno	Pe
CES409.058	Pajonal arbustivo altoandino y altimontano pluvial de Yungas	Pe, Bo
CES409.059	Pajonal arbustivo altoandino y altimontano pluviestacional de Yungas	Pe, Bo
CES409.062	Sabana arbolada montana y basimontana de Yungas	Pe, Bo

### HUMEDALES-VEGETACIÓN INUNDABLE

#### 8. Bosques inundables por aguas blancas

CES409.047	Vegetación ribereña montana y altimontana de Yungas	Pe, Bo
CES409.065	Vegetación ribereña basimontana de Yungas	Pe, Bo
CES409.061	Palmar pantanoso subandino de Yungas	Pe
CES408.532	Bosque inundable de la llanura aluvial de ríos de aguas blancas del este de la Amazonía	Pe
CES408.531	Bosque inundable de la llanura aluvial de ríos de aguas blancas del suroeste de la Amazonía	Pe, Bo
CES408.578	Bosque inundado por aguas blancas estancadas del suroeste de la Amazonía	Pe, Bo
CES408.550	Complejo de vegetación sucesional riparia de aguas blancas de la Amazonía	Pe, Bo
Co02 Amazonía	Complejo de bosques sucesionales inundables de aguas blancas de la Amazonía	Pe, Bo
Co08 Beni	Complejo de bosques y vegetación riparia de aguas claras y negras del Beni	Bo

#### 9. Bosques inundables por aguas negras

CES408.536	Bosque inundable y vegetación riparia de aguas negras del oeste de la Amazonía	Pe
CES408.535	Bosque inundable y vegetación riparia de aguas negras del suroeste de la Amazonía	Pe, Bo
CES408.538	Bosque pantanoso de palmas de la llanura aluvial del oeste de la Amazonía	Pe
CES408.573	Bosque pantanoso de palmas de la llanura aluvial del sur de la Amazonía	Pe, Bo
CES408.526	Bosque aluvial de aguas negras estancadas del sur de la Amazonía	Pe, Bo
CES408.574	Bosque inundable de la llanura aluvial de ríos de aguas negras del centro-sur de la Amazonía	Bo
CES408.576	Bosque de tierra firme depresionada del sur de la Amazonía	Bo
Co05 Beni	Complejo de bosques y vegetación riparia de aguas blancas del Beni	Bo

Bo = Bolivia; Pe = Perú



<b>10. Bosques inundables por aguas claras</b>		
CES408.528	Bosque de arroyos de aguas claras del suroeste de la Amazonía	Pe, Bo
CES408.567	Bosque de arroyos de aguas claras del centro-sur de la Amazonía	Pe, Bo
<b>11. Vegetación inundable amplia</b>		
CES408.569	Bosque pantanoso de la llanura aluvial del oeste de la Amazonía	Pe
CES408.571	Bosque inundable y vegetación riparia de aguas mixtas de la Amazonía	Pe, Bo
CES408.560	Sabanas arboladas y arbustivas de la alta Amazonía sobre suelos anegables	Pe, Bo
CES408.552	Herbazal pantanoso de la llanura aluvial de la alta Amazonía	Pe, Bo
Co01 Amazonía	Complejo de sabanas del sur de la Amazonía	Pe, Bo
Co07 Beni	Complejo de bosques y vegetación riparia de aguas mixtas del Beni	Bo
<b>VEGETACION INUNDABLE DEL BENI</b>		
<b>12. Baja inundación</b>		
CES406.225	Bosque bajo espinoso inundable de las semialturas alcalinas del Beni occidental	Bo
CES406.241	“Cerradao” mal drenado de las semialturas no alcalinas del Cerrado y Beni	Bo
CES406.245	Palmar y sabana inundables de las semialturas alcalinas del Beni	Bo
CES406.246	Sabana higrofitica con montículos del Cerrado	Bo
CES406.248	Sabana abierta higrofitica de las semialturas del Beni y la Chiquitania	Bo
Co01 Beni	Complejo de sabanas no alcalinas del Beni transicionales al Cerrado	Bo
Co02 Beni	Complejo de sabanas alcalinas del Beni	Bo
Co06 Beni	Complejo del Cerrado del Beni norte	Bo
<b>13. Media inundación (bajíos estacionales)</b>		
CES406.226	Bosque de galería de los bajíos del Beni	Bo
CES406.249	Sabana herbácea mesotrofica estacionalmente inundada del Beni	Bo
CES406.250	Sabana herbácea oligotrófica estacionalmente inundada de la Chiquitania y el Beni	Bo
Co03 Beni	Complejo de sabanas inundables por aguas blancas del Beni	Bo
<b>14. Alta inundación (bajíos permanentes)</b>		
CES406.251	Sabana inundable de los bajíos del Beni	Bo
CES406.253	Vegetacion acuática y palustre neotropical de la Chiquitania y el Beni	Bo
Co04 Beni	Complejo de pantanos del Beni	Bo

Bo = Bolivia; Pe = Perú

### 1.3 METODOLOGÍA PARA EL MAPEO DE SISTEMAS ECOLÓGICOS

El área de los estudios se dividió en tres regiones con sus respectivos responsables: Yungas peruanas, a cargo del CDC-UNALM; Amazonía peruana (selva baja), a cargo del IIAP; y Yungas bolivianas y tierras bajas de Bolivia, que incluyen la Amazonía y las sabanas del Beni, a cargo de G. Navarro y W. Ferreira, consultores radicados en Cochabamba. En las secciones anteriores se ha hablado de la clasificación de sistemas ecológicos aplicada en este estudio; para asegurar que el concepto de cada clase identificada de acuerdo a esta clasificación fuese interpretado de la misma manera, se realizaron numerosas reuniones de los tres equipos de mapeo, pues las mismas clases podían encontrarse en diferentes regiones.

Tratándose de un área de estudio tan extensa, se decidió utilizar, en lo posible, información existente. Concretamente, la información desarrollada a nivel regional o ecorregional descrita en la sección anterior. Si bien se usaron como punto de partida, todos estos mapas fueron mejorados y en algunos casos profundamente modificados para ajustarse a los requisitos de clasificación y de resolución espacial de este proyecto. Para la región de las sabanas del Beni en Bolivia, este mapa de sistemas ecológicos se desarrolló partiendo de cero y es el primer mapa que cubre la región con detalle.

#### 1.3.1 Aspectos comunes

Además de la clasificación aplicada, otro aspecto que comparten en su génesis los mapas de las tres grandes regiones, es que todos se han basado en la interpretación visual de la cobertura a partir de imágenes satelitales y mosaicos Landsat TM y ETM+. Los mosaicos y/o las escenas independientes fueron georeferenciados a coordenadas UTM zona 18, 19 y 20, según su localización, datum y esferoide WGS 84.

Otros elementos metodológicos comunes son: la toma de datos en campo para la validación y los estándares cartográficos adoptados en cuanto a proyección y unidad mínima de mapeo y el tratamiento de las áreas antropizadas y con vegetación secundaria.

La metodología de toma de datos de campo para el desarrollo del mapa y la evaluación del producto final, fue acordada con la participación de los tres equipos y con este fin se definieron los parámetros y rangos para tomar las muestras, los cuales se consignaron en un formulario (ver Anexo 2). Estas muestras debían servir para describir el punto de la muestra como un sitio representativo de un entorno homogéneo de por lo menos una hectárea alrededor del punto. No se esperaba realizar análisis cuantitativos y por tanto no se fijó una forma o tamaño de parcela para llevar a cabo inventarios; sin embargo, los tres grupos realizaron la toma de datos utilizando alguna clase de parcela de forma y área variable, según el tipo de vegetación y sus características de estructura y homogeneidad. Como parte

del procedimiento del muestreo en campo, se estableció que la asignación de una clase de sistema ecológico a la muestra se debía realizar al momento de la toma de la muestra en el campo, sin embargo esta condición no pudo cumplirse siempre puesto que en algunos casos es necesario tener las identificaciones taxonómicas de las colecciones botánicas para asegurarse de la pertenencia de la muestra a un sistema u otro.

Como parte de la metodología para el muestreo en campo, la ubicación de los diversos puntos de muestreo se realizó a través del programa SPOT (Spatial Optimization Tool), el cual sugiere áreas donde existe mayor representatividad de los sistemas a ser muestreados en función de diversos componentes tales como: facilidad de acceso, vías de comunicación, actividades antropogénicas, áreas sensibles y área de los sistemas ecológicos.

El área de estudio se subdividió en varias zonas de muestreo bajo la responsabilidad de los distintos equipos. Para cada zona de muestreo se utilizó el resultado del SPOT para identificar los sistemas ecológicos a ser muestreados, así como el número de muestras a ser tomadas (Fig. 3).

Como se puede ver en el ejemplo gráfico (Fig. 3) el número de puntos seleccionados es alto y a menudo pueden estar en áreas de difícil acceso. De modo que esta herramienta y los resultados que generó, finalmente sirvieron más que nada como referencia para la planificación de las salidas de campo, que se detalla en las secciones siguientes donde se describen los métodos aplicados por cada uno de los tres equipos.

En cuanto a la unidad mínima de mapeo, esta fue establecida en 25 ha, ya que la escala espacial de trabajo fue fijada en 1:250.000. Este tamaño se aplicó tanto a los sistemas ecológicos naturales como a la cobertura antrópica. En relación a la representación de áreas con intervención humana, se acordó que los casos en que la cobertura vegetal se apredominantemente natural aunque presente pequeñas inclusiones de vegetación alterada, chacras o fincas, si estas áreas de intervención no alcanzan las 25 ha, entonces quedan incluidas en el polígono de vegetación natural. En cambio, áreas donde la matriz representa principalmente uso humano, alternando con pequeños parches de vegetación natural (<25 ha), entonces el polígono corresponde a cobertura antrópica. Para Bolivia y la zona andina de Perú, las imágenes más antiguas en las que se basa esta interpretación son de fines de 1999, mientras que en la Amazonía peruana la mayoría de las áreas con altas tasas de cambio en el uso del suelo representan información de los años 2003 al 2005. Solo algunas de las zonas más accesibles de la Amazonía peruana están representadas por imágenes de la década de 1980.

En el contexto de toda el área de estudio, el mapa de la región andina de Perú es el que fue desarrollado con un

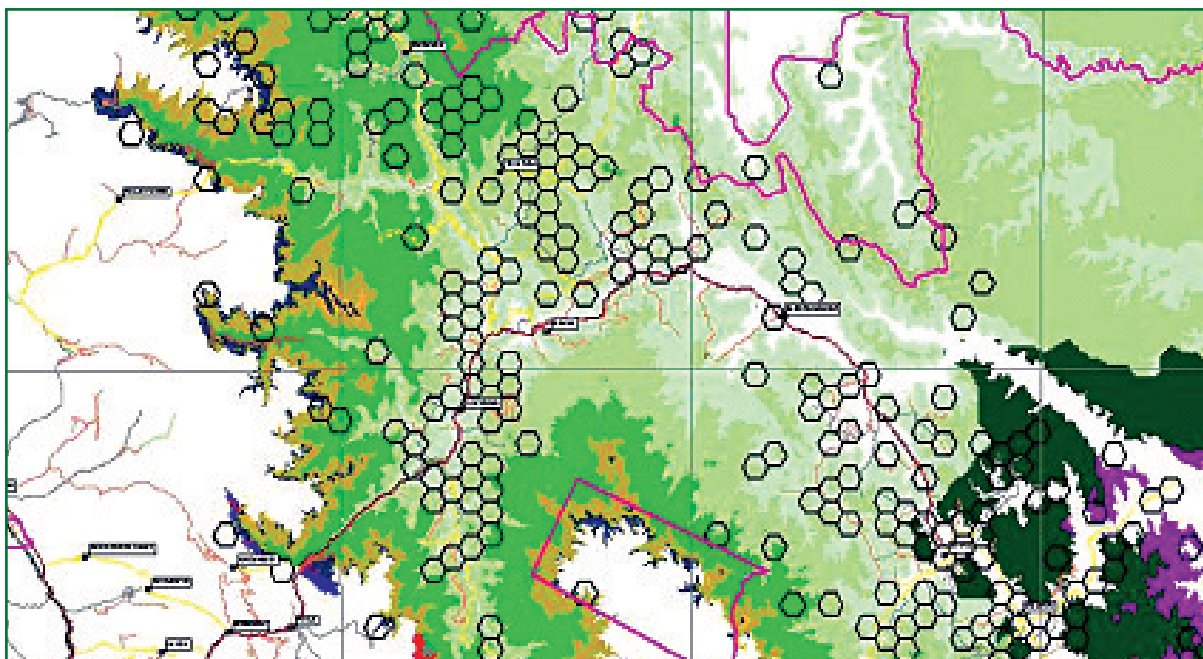


Figura 3. Ejemplo de resultado del SPOT.

método claramente distinto a los demás. Se trata de un mapa que parte de un modelamiento cartográfico, donde se superpusieron cuatro coberturas o mapas temáticos. En alguna medida, como se verá a continuación, los mapas de las otras regiones también usan esta aproximación de forma deductiva para identificar la distribución de las clases a cartografiar y facilitar su delimitación, pero en el caso del mapa en cuestión, el resultado de este modelo es el que queda original en los polígonos, y no la digitalización manual de cada uno, salvo contadas excepciones. De igual forma, la clase de cobertura antrópica en este mapa fue cartografiada separadamente y es el resultado de la clasificación digital, a diferencia de la interpretación visual que se ha utilizado en las otras regiones de mapeo.

### 1.3.2 Descripción metodológica por región de mapeo

#### 1.3.2.1 Mapa de Sistemas Ecológicos de las Yungas Peruanas

Modelamiento cartográfico de los sistemas ecológicos de las Yungas Peruanas

- Diagrama de flujo

El procedimiento empleado para la elaboración del mapa de sistemas ecológicos terrestres comprendió la secuencia indicada en el siguiente gráfico:

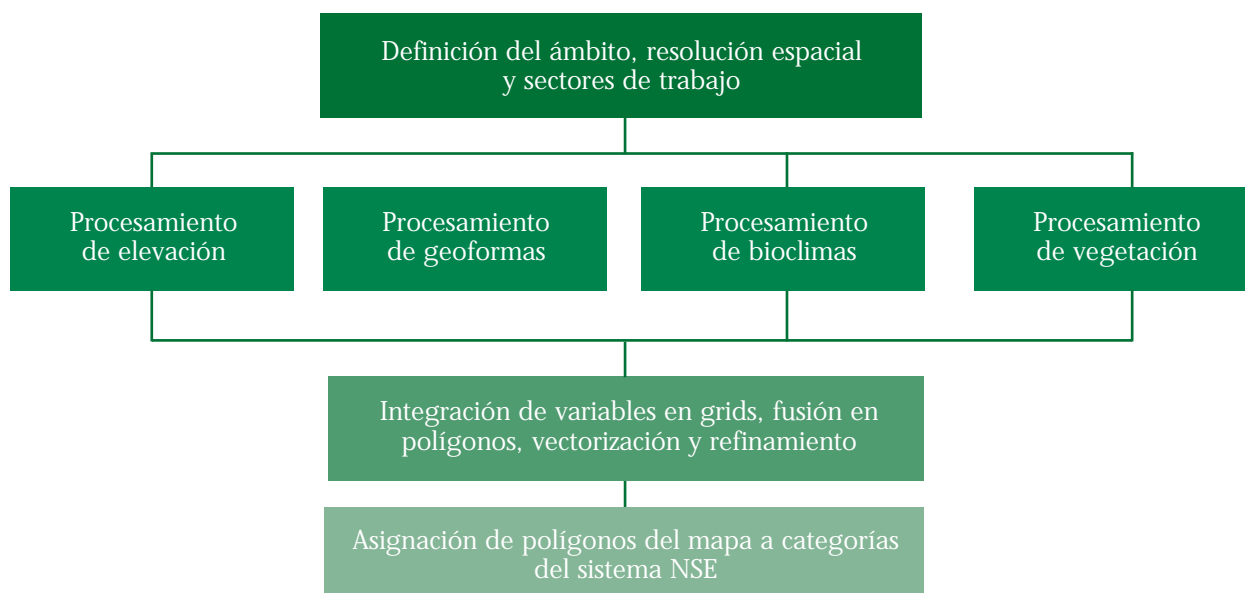


Figura 4. Flujo general del proceso.

Los apartados que a continuación se presentan contienen la descripción de los pasos que forman parte de la secuencia.

- Definición del ámbito, resolución espacial y sectores de trabajo

El área de las Yungas peruanas se localiza aproximadamente entre las coordenadas 68° 49' 37" y 78° 41' 33" de Longitud Oeste y entre los 3° 46' 37" y 14° 30' 38" de Latitud Sur. Considerando las coordenadas UTM (proyección Transversa de Mercator, meridiano central 75°W, elipsoide WGS84), los puntos extremos se ubican entre los valores de de abscisa (X): 88,466 y 1,167,926 mE, y entre los valores de ordenada (Y): 8,369,685 y 9,544,815 mN. El área comprendida entre estos límites (área bruta) es 1.268.505,83 km<sup>2</sup>, siendo el área neta 150.491,01 km<sup>2</sup>.

El mapa digital ha sido desarrollado primero en formato raster y luego en formato vectorial. La base de datos espacial empleada está formada de celdas cuadradas de 90 metros de lado, dimensión correspondiente a la del grid del modelo digital del terreno (Digital Elevation Model o DEM), proveniente del programa espacial Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) <<http://srtm.usgs.gov>>.

Si bien la resolución en que se integró la información espacial es de 90 metros, los mapas fuente de donde proviene la información temática utilizada poseen diversas resoluciones:

1. elevación: 90 m (SRTM 90 m)
2. geoformas: 90 m (SRTM 90 m)
3. bioclima: 30 segundos (aprox. 910 m cerca de la línea ecuatorial) (WORLDCLIM)
4. vegetación: 28,5 m (CDC-TM Landsat7)

Dado lo extenso del territorio de las Yungas, el tamaño del archivo raster de celdas de 90 metros grandes y su manejo se vuelve poco eficiente. Por esta razón, se dividió el área en tres sectores geográficos o zonas de trabajo, identificadas con las letras A, B y C, como se muestra en el gráfico contiguo (Fig. 5).

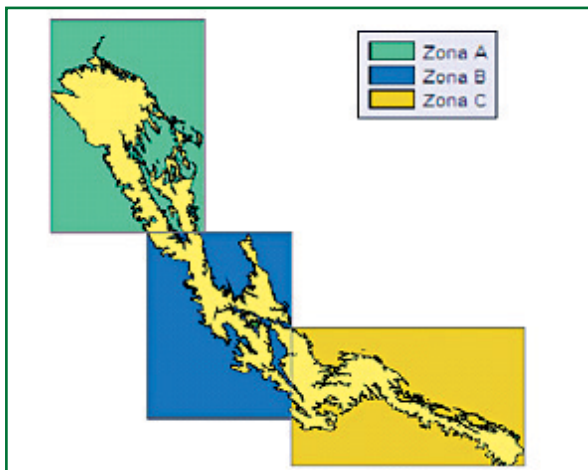


Figura 5. Tres zonas de trabajo.

- Procesamiento de la variable ELEVACIÓN  
El mapa celular de elevaciones (DEM90) fue reclasificado en rangos de elevación como se indica en el cuadro siguiente:

Valores límite (msnm)		
Código asignado	Desde inclusive	Hasta antes de
1	0	800
2	800	1.300
3	1.300	2.000
4	2.000	2.900
5	2.900	3.600
6	3.600	10.000

Cuadro 2. Rangos de elevación

Para definir el límite del área del proyecto en el mapa original se tomó en cuenta la elevación, constituyendo su nivel inferior la cota de 800 msnm y el superior la cota de 3.600 msnm. En este último caso, el borde del área del proyecto ha sido ajustado hacia arriba siguiendo el límite de los bosques pero se ha cortado debajo de la cota de 3.600 m cuando esta se proyecta hacia el oeste como una angosta franja por valles interandinos.

- Procesamiento de la variable GEOFORMAS

Esta variable ha sido desarrollada a partir del mapa celular de elevaciones (DEM90) siguiendo un proceso iterativo de definición de macroformas del relieve.

Las macroformas se definieron en los pasos sucesivos que muestra la Figura 6.

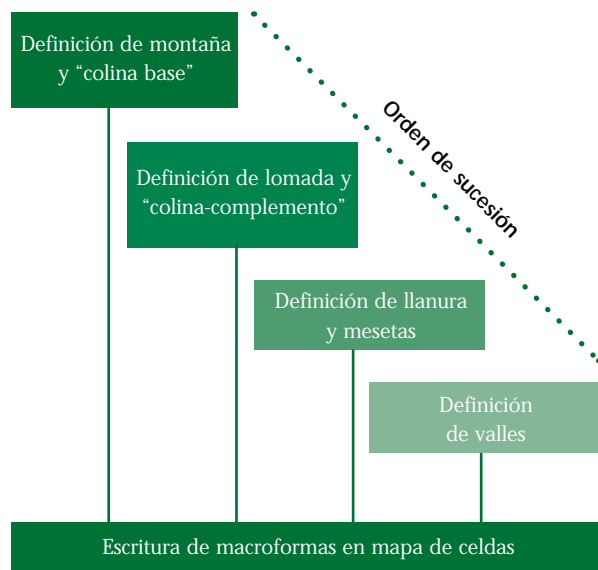


Figura 6. Proceso de la variable geoformas.



La definición de macroformas se efectuó empleando tres tamaños de celdas distintos (resoluciones): 900 m para montañas y colinas básicas; 180 m para lomas y colinas-complemento, así como para valles; y 90 m para llanuras y mesetas.

La identificación de las celdas pertenecientes a cada categoría se realiza determinando la variación altitudinal o desnivel. Por definición, las montañas constituyen volúmenes de gran dimensión y por ello su identificación en el relieve del terreno debe comprender necesariamente espacios horizontales grandes, pues de otro modo solo los cambios muy abruptos (aquellos que ocurren en una distancia horizontal reducida, como escarpes y laderas muy empinadas) permitirían distinguir las de las colinas. Las lomas y colinas son macroformas que se proyectan entre 25 y 300 m sobre el terreno basal, con cuestas dependientes débiles (2-8%) hasta moderadas (8-16%) las primeras, y desde acentuadas (16-30%) hasta escarpadas (30-50%) las segundas. Como en el caso de las montañas, su identificación como resaltos del terreno puede hacerse solo si la evaluación comprende una distancia horizontal suficiente, tal que permita determinar valores de desnivel a una pendiente es baja; de otro modo serían clasificadas como colinas solo las cuestas escarpadas. Las macroformas cuya definición requiere un menor espacio horizontal para definirse son las llanuras, las cuales teóricamente son áreas carentes de desniveles o que presentan rangos de variación muy reducidos.

Así, se ha diferenciado como montañas las áreas cuyo desnivel es mayor de 233 m en espacios horizontales de 4.500 m (ventanas de evaluación de 5x5 celdas de 900 m o 2.025 ha); las áreas restantes quedaban clasificadas provisionalmente como "colinas o geoformas menos conspicuas". En una resolución de 180 m se analizaron los sectores con clasificación provisional, empleando un espacio horizontal referencial de 540 m (ventana de 3x3 celdas de 180 m, o 29,16 ha), y se reclasificó como colinas las áreas cuyo desnivel es superior a 180 m y -provisionalmente- como "lomas o geoformas menos conspicuas" las áreas restantes. En una resolución de 90 m, y empleando ventanas de inspección de 450 m (5x5 celdas de 90 m), se analizaron los sectores clasificados provisionalmente, reclasificando como llanura aquellos cuyo desnivel es inferior a 20 m, quedando las áreas restantes clasificadas como lomas. En cuanto a la geoforma de valles, se necesitó inscribir en una imagen raster de 180 m de resolución la hidrografía de las Yungas, ubicada exclusivamente entre 800 y 3.100 msnm. Luego, utilizando el mapa digital de elevaciones de celdas de 180 m y una ventana de inspección de 900 m de lado, se seleccionó las celdas en un rango de desnivel de 50-300 m, y se usaron estos sectores para filtrar la hidrografía ajustada. Se intersectó este mapa filtrado de hidrografía con el mapa de montaña y colina-base, y se descartó la hidrografía que no coincidía con la clase Montaña, así como toda otra clase que no fuera hidrografía. Los sectores seleccionados se clasificaron como valles.

Debido a que la pérdida de resolución tiende a "aplanar" el relieve (ya que la elevación que asume la celda da resultado es un promedio de los valores de las celdas originales), los desniveles límite entre las geoformas han sufrido algún ajuste en correspondencia, el cual se definió verificando visualmente los valores de resalto con el modelo digital del relieve en distintos tamaños de celda.

#### • Procesamiento de la variable BIOCLIMA

Esta variable fue procesada a partir de los macro-grids de datos globales del clima desarrollados por la Universidad de California, en Berkeley, Proyecto WORLDCLIM <<http://biogeo.berkeley.edu/worldclim/worldclim.htm>>, de 30 segundos de resolución. Se usaron algunos parámetros de los datos climáticos globales para derivar clases de bioclima según el sistema desarrollado por Salvador Rivas-Martínez "Clasificación Bioclimática de la Tierra" <[http://www.ucm.es/info/cif/book/bioc/global\\_bioclimatics\\_2.htm](http://www.ucm.es/info/cif/book/bioc/global_bioclimatics_2.htm)> (Cuadro 3).

Bioclima	lo	lod2
Tropical pluvial	≥ 3.6	> 2.5
Tropical pluvial estacional húmedo	6.0-12.0	≤ 2.5
Tropical pluvial estacional subhúmedo	3.6-6.0	≤ 2.5
Tropical xérico	1.0-3.6	-
Tropical desértico	0.1-1.0	-

Cuadro 3. Índices ombrotérmicos según Rivas-Martínez.

El índice ombrotérmico (lo) se obtuvo empleando la fórmula:

$$lo = PT / (TT/100) \times 12$$

Donde:

PT significa precipitación total anual (suma de los 12 totales de PP mensuales, en mm).

TT significa temperatura total anual (suma de las temperaturas medias de cada mes, en décimas de grado).

El índice ombrotérmico del bimestre más seco (lod2) fue calculado empleando la fórmula:

$$lod2 = PTd2 / (TTd2/100) \times 12$$

Donde:

PTd2 significa precipitación total del bimestre más seco (suma de la precipitación total mensual de los dos meses más secos del año).

**Td2** significa temperatura total del bimestre más seco (suma de las temperaturas medias de los dos meses más secos).

La secuencia utilizada en la definición de esta variable, a partir del grid de bioclimas, es la siguiente:

1. Convertir el mapa digital de macro-grids a la proyección cartográfica UTM, centrada en el Meridiano Central 75 Oeste (zona 18 S) y sectorizarlo.
2. Inscribir el mapa de bioclimas en una imagen raster de 450 m de resolución y en tres iteraciones generalizar mediante filtros modales (inspeccionar la imagen con una ventana móvil de 3x3 y asignar a la celda central la clase que más se repite) para eliminar las celdas aisladas y para suavizar las formas angulares.
3. Vectorizar el mapa digital de 450 m de resolución.
4. Inscribir el mapa en una imagen de 90 m de resolución, generalizar para suavizar los límites en la resolución final.
5. Seccionar la imagen de celdas de 90 m en las tres secciones A, B y C.

#### • Procesamiento de la variable VEGETACIÓN

Esta variable proviene del mapa digital de cobertura y uso de la tierra, de 12 categorías temáticas, desarrollado por CDC-UNALM sobre imágenes Landsat.

Trabajando con el programa ArcView y la extensión Image Analyst para visualizar imágenes raster, con el empleo de un juego de 23 imágenes Landsat-TM de distintas fechas, se simplificó el mapa hasta tres clases de vegetación: bosque, matorral y pasto. Para ello se tuvo en cuenta la condición ecológica señalada por el Mapa Ecológico del Perú de escala 1:1.000.000 y la hidrografía del área. Estos mapas, en formato digital, fueron apoyo importante para el proceso debido a que hacia el borde superior de las Yungas las imágenes satelitales presentan mucha cobertura de nubes, lo cual impide visualizar el límite real de las áreas con vegetación y de las zonas donde esta se atenúa, debiendo en tal caso deducirse la extensión y forma de las unidades cartográficas por analogía con las del mapa ecológico y en correspondencia con los rasgos hidrográficos. La escala de trabajo fue 1:100.000 ya que la escala de impresión era 1:250.000. La dimensión mínima de los polígonos a trabajar fue definida en 0,5 cm, es decir polígonos de 500 m como mínimo en el terreno, que en área representan aproximadamente 25 ha.

#### • Integración de variables en grids, fusión en polígonos, vectorización y refinamiento

Para realizar la combinación de las cuatro variables ambientales, se ha utilizado un procedimiento por el que cada celda adquiere un código de cuatro dígitos que describe la combinación de características, en la forma que se grafica a continuación (Fig. 7).

Como se ha señalado antes, el procesamiento de la información espacial se efectuó usando tres archivos de tipo raster, correspondientes a las zonas A, B y C. Tras ser inscritos los códigos grid en las celdas de los archivos raster, se unieron los tres archivos en uno y se procedió a la conversión de este archivo resultante en uno de formato vectorial, desapareciendo las fronteras entre píxeles del mismo código, para constituir formas poligonales irregulares que representan la base del mapa preliminar de sistemas ecológicos terrestres. Los códigos de los polígonos así generados, se asignaron a un sistema ecológico determinado basado en el concepto de cada sistema y en sus elementos diagnósticos. Así, por ejemplo, una combinación 3642 corresponde a un sistema caracterizado por un rango de elevación de 1.300 a 2.000 m, que ocurre en valles con un clima tropical xérico y cuya estructura de vegetación se considera un matorral. Diferentes combinaciones pueden corresponder a un mismo sistema ecológico, dependiendo de la amplitud ecológica del mismo.

Los polígonos así definidos fueron sometidos a un proceso de filtrado tras el cual los elementos aislados de forma no alargada con menos de 40 hectáreas se fusionaron con los polígonos contiguos que compartían la mayor frontera. A la escala de 1:250.000, un polígono cuadrado de 40 ha posee algo más de 2,5 milímetros, la resolución requerida para el mapa.

#### Ampliación del área de estudio y validación del mapa modelado de Yungas peruanas

En las primeras reuniones de coordinación del proyecto, se acordó ampliar el área de estudio de la ecorregión Yungas peruanas a los fondos de valles que se encuentran rodeados por la ecorregión.

Para identificar las áreas que serían adicionadas al mapa de sistema ecológico, se tomó en cuenta los siguientes criterios:

- La ecorregión de las Yungas peruanas no debe presentar fondos de valles aislados de la ecorregión.
- Los fondos de valles deben incluir los ríos principales como: Huallaga, Perené, Ene, Tambo y Urubamba.
- El área de traslape entre el mapa de sistemas ecológicos desarrollado por el CDC-UNALM y el mapa desarrollado por el IIAP debe ser lo más uniforme posible.

El efecto de esta adicional área del mapa original se presenta en la Figura 8, y el diagrama del proceso metodológico para la validación del mapa modelado se presenta a la figura 10.

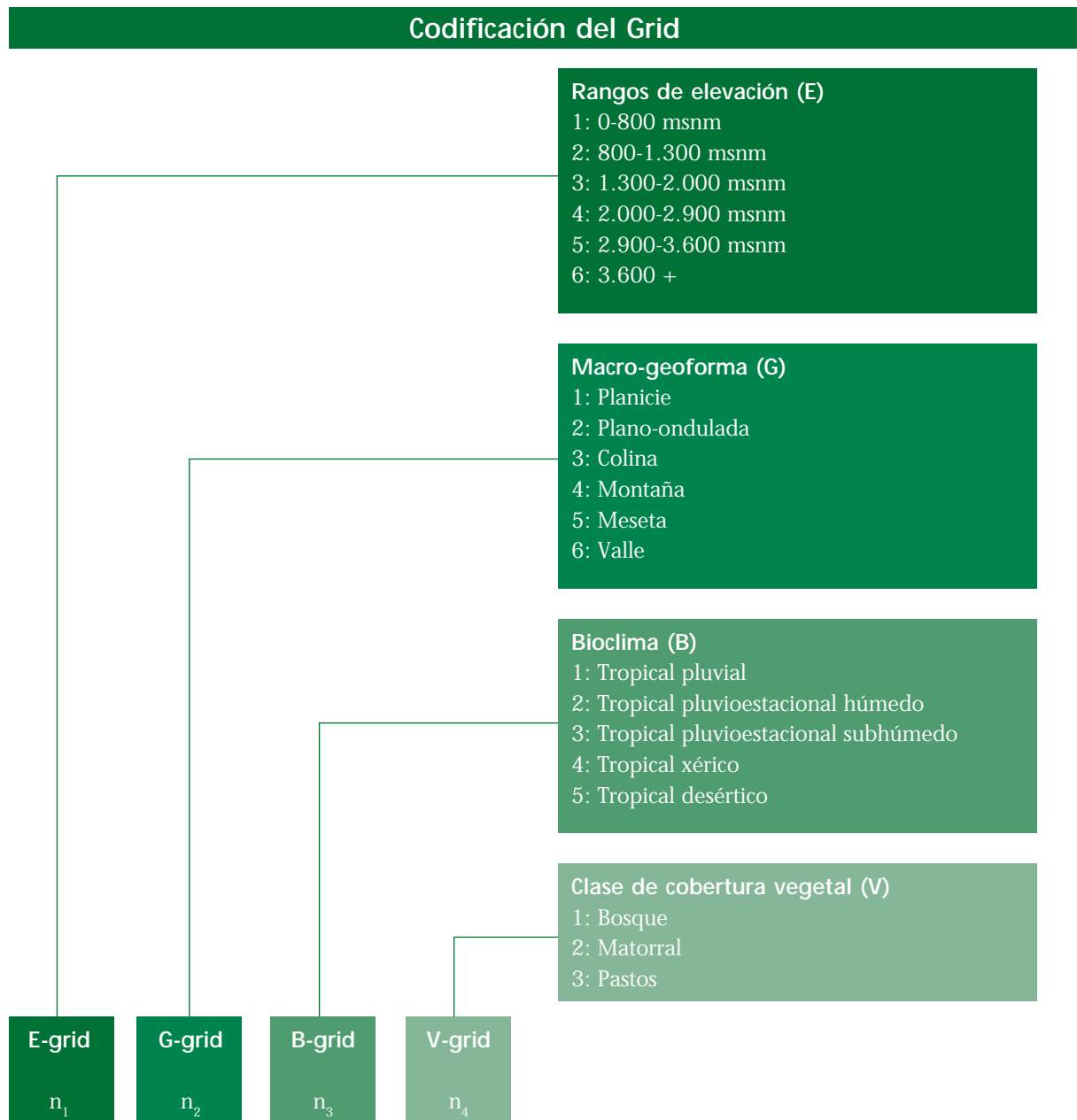


Figura 7. Integración de variables.

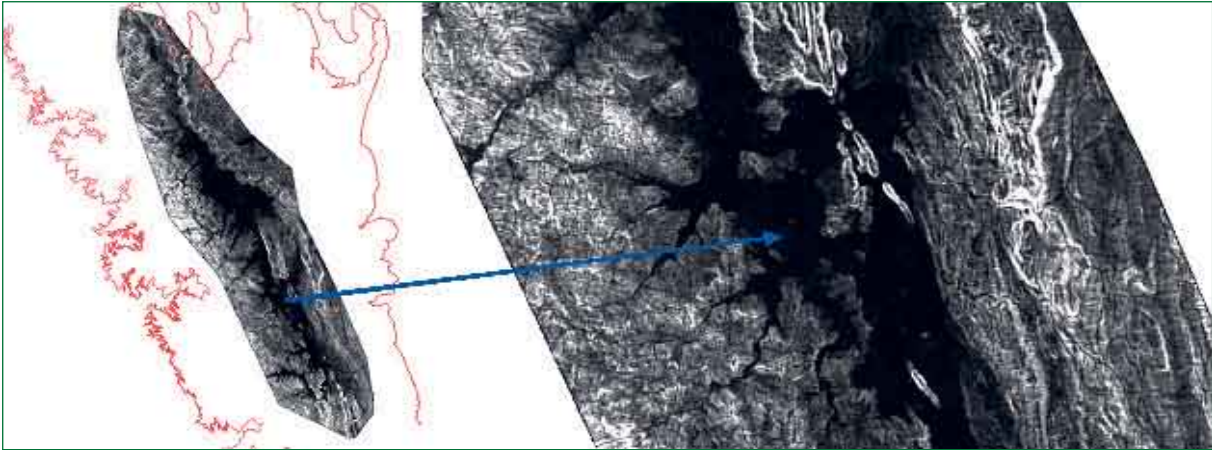


Figura 9. Imagen resultante de la resta algebraica de Máximas y Mínimas

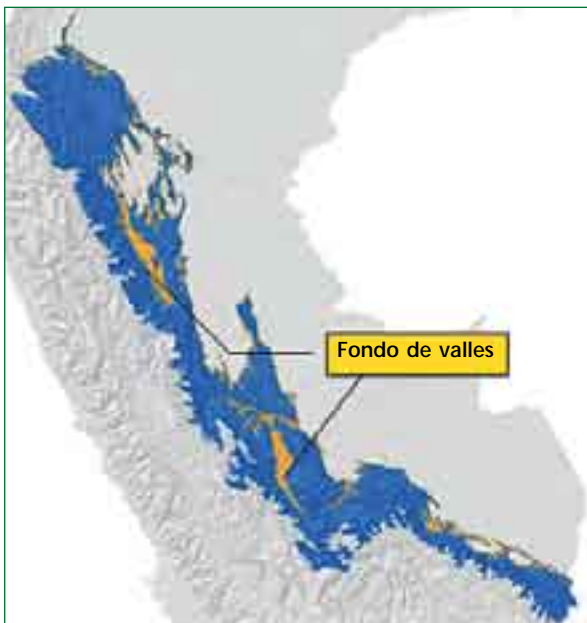


Figura 8. Áreas adicionales al mapa original de Yungas peruanas.

Las áreas adicionales fueron sometidas a una clasificación no supervisada con 150 clases y 20 interacciones, para determinar los diversos componentes del paisaje tales como: hidrografía, vegetación boscosa, actividades antropogénicas, sin cobertura boscosa, deslizamientos naturales, nubes, sombras, bancos de arena, bosque seco, otro tipo de vegetación. Cabe destacar que estos fondos de valle se encuentran entre las áreas más extensamente transformadas por los usos agrícolas y la presencia humana. Al tratarse de fondos de valle amplios, a baja altitud, cálidos y mayormente húmedos, la vegetación potencial es principalmente de bosques amazónicos. Además los grandes ríos referidos arriba, discurren formando meandros con lo que las llanuras de inundación también son ambientes importantes. Por esta razón se modeló la planicie de inundación utilizando el resultado de la resta

algebraica de máximos y mínimos del DEM de 90 m (Fig. 9). Aquellos lugares donde las diferencias entre las altitudes máximas y mínimas son menores corresponden a terrenos con relativa uniformidad en la superficie y se clasifican como planicies de inundación.

- Etapa pre-campo: identificación de los puntos a muestrear

La ubicación preliminar de los puntos de muestreo de campo se realizó a través del programa SPOT (Spatial Portfolio Optimization Tool). En la práctica, se consiguió estudiar una fracción de estos en la docena de salidas de campo que se organizaron, ya que la geografía en extremo accidentada y la densidad de la vegetación determinaron concentrar el muestreo en los sistemas accesibles. La región de estudio fue dividida en tres zonas: Norte (conformada por las áreas de Bagua, Chachapoyas y Tarapoto), Centro (Tingo María-Alto Huallaga, Panao, La Merced-Oxapampa-Satipo) y Sur (San Francisco, Abancay-Andahuaylas, Quillabamba, Pilcopata, Sandía). Esta división fue hecha en función a la logística del trabajo (vías de comunicación, tiempo de llegada a la zona, tiempo del trabajo de campo, contactos con botánicos, otros). Una vez identificadas las áreas a muestrear y dentro de ellas los sistemas ecológicos, se procedió a la identificación de los puntos a ser muestreados.

Para la ubicación de los puntos a muestrear, se utilizaron: imágenes satelitales, modelo digital de elevación del terreno, curvas de nivel, centros poblados, carreteras, mapas de sistemas ecológicos y el resultado del SPOT (Fig. 11).

Los criterios que se tomaron en cuenta para la ubicación de los puntos fueron:

- Presencia de bosque.
- Dentro de lo posible, a lo largo de las vías de comunicación.
- Que los puntos se encuentren en diferentes niveles altitudinales.



Figura 10. Flujograma para la validación del mapa de sistemas ecológicos

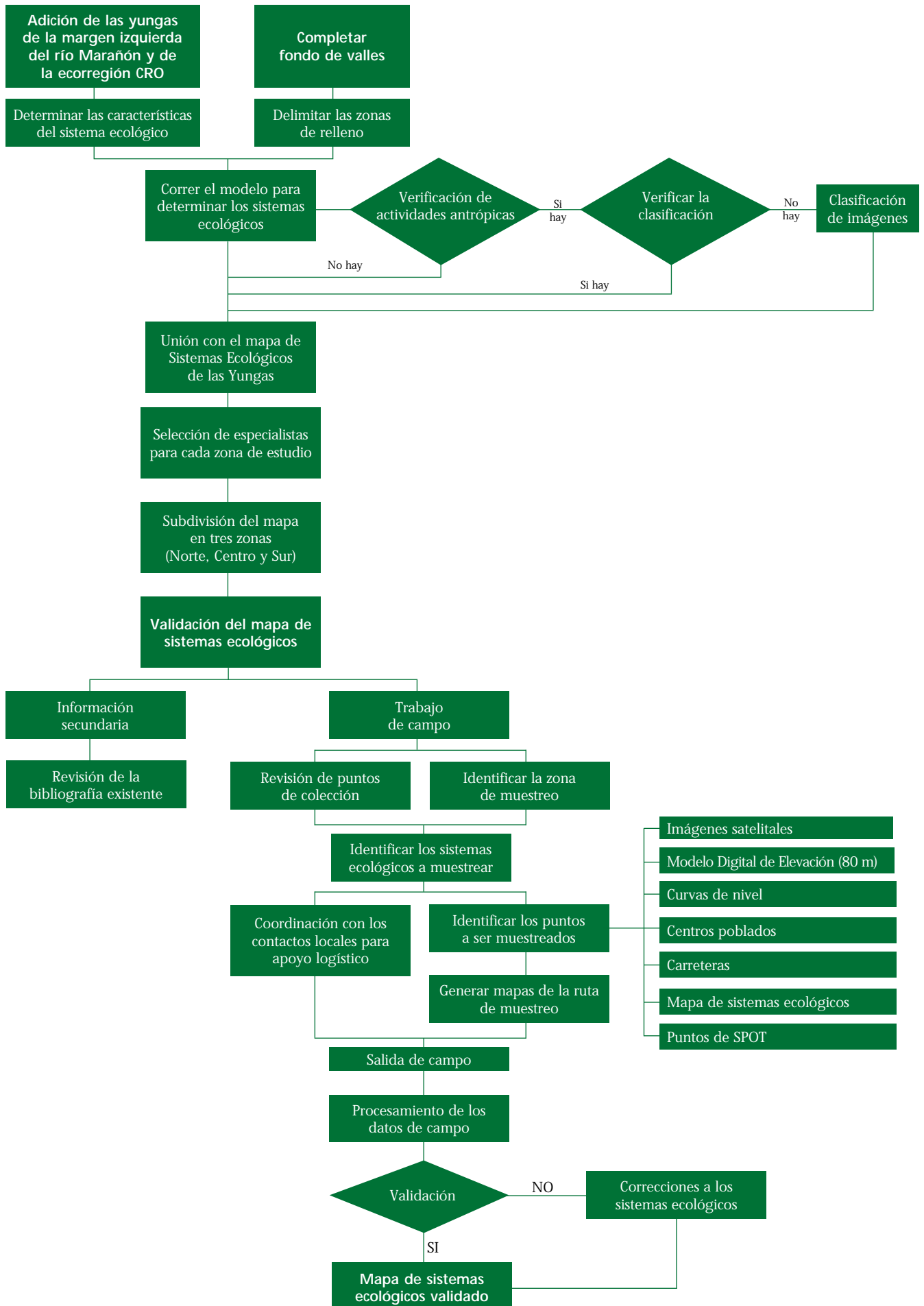




Figura 11. Ubicación de puntos a muestrear.

- Que se encuentren dentro y/o cerca de los hexágonos del SPOT.
- Que el punto a muestrear no demande más de dos horas de movilización desde una vía carrozable.

• Muestreo en campo

El trabajo de campo consistió en salidas a lugares preestablecidos (Fig. 10) utilizando recorridos establecidos, para la toma de datos en base al formulario del proyecto, con el cual se pretende identificar in situ los sistemas ecológicos para posteriormente validar el mapa de sistemas ecológicos desarrollado por el CDC-UNALM. Los equipos de campo se conformaron con un responsable del CDC y conocidos botánicos de la Facultad Forestal de la UNALM y de la Universidad San Antonio Abad del Cusco para apoyar en la identificación botánica in situ y la colección de muestras botánicas.

• Etapa de gabinete pos-campo: validación del mapa y modificaciones

Para realizar el análisis se creó una base de datos con todas las especies indicadoras que se nombraron en la memoria explicativa de los sistemas ecológicos, así como su relación con dichos sistemas y sus rangos altitudinales. Una vez procesados los puntos muestreados, fueron interceptados con el mapa de sistemas ecológicos obteniendo el Cuadro 4.

Nombre	Nombre del punto
X-Formulario	Coordenadas UTM East obtenidas del formulario de campo
Y-Formulario	Coordenadas UTM North obtenidas del formulario de campo
Zona UTM	Zona UTM
Altitud	Altitud del punto muestreado obtenido por el GPS
SE-Mapa	Sistema ecológico obtenido del mapa generado por el CDC-UNALM
SE-Formulario	Sistema ecológico identificado en el campo

Cuadro 4. Atributos de los puntos de muestreo.

El análisis de los resultados consistió en verificar si los sistemas ecológicos determinados en campo correspondían a las variables (especies indicadoras, rango altitudinal), que se utilizaron para determinar dichos sistemas, además de contrastarlos con los sistemas del mapa generado por el CDC-UNALM para analizar la concordancia entre las muestras de validación y el mapa.

Las comparaciones de las muestras tomadas en las primeras salidas dieron porcentajes bajos de acierto con el mapa a validar. Ante esta situación la base de datos de las muestras de campos se sometió a revisión por parte de investigadores más familiarizados con la clasificación, lo que junto con la revisión de inventarios de otros estudios y otra información adicional, llevó a la corrección de algunas muestras en lo referido a la asignación a un sistema ecológico. Luego se reservaron puntos para llevar a cabo la evaluación del mapa final con muestras de referencia independientes.

Los puntos disponibles para la validación y corrección se compararon con el mapa y en los casos de falta de coincidencia, se cambió el polígono de intersección al sistema clasificado en la muestra. Este tipo de cambios involucra el análisis de otras capas de información espacial para determinar el área a ser modificada, especialmente las imágenes Landsat y el mapa de relieve. También se recurrió a comunicación personal con botánicos de campo y cualquier otro tipo de información que pudiese confirmar las características naturales de las áreas geográficas en cuestión.

La revisión del mapa modelado original permitió establecer que para la variable bioclima se sobreestimaba la extensión del ombrotipo subhúmedo, especialmente en los valles de los ríos Apurímac y Urubamba y parte adyacente de la Cordillera de Vilcabamba. Por este motivo se derivaron nuevamente los índices climáticos para generar una nueva capa de la variable de bioclima. Esta se utilizó en un nuevo modelamiento cartográfico, reemplazando únicamente la capa de bioclima y restringiendo al área geográfica del valle en cuestión, captada en la Figura 12. Luego de obtener los nuevos códigos grids, se reasignaron las combinaciones y se generó un nuevo mapa para esta zona.

La edición de este mapa se realizó para mejorar algunos límites que no contaban con los suficientes vértices, ofreciendo así la apariencia de cuadrados grandes con poco detalle. Para realizar el suavizado de los límites de los sistemas ecológicos se utilizó herramientas del programa ArcView 3.2 que permitieron modelar los límites según las curvas de nivel de las zonas representadas mediante el DEM de 90 m. También se consideró la hidrografía existente en el área.

Finalmente se unieron los mapas de sistemas ecológicos y de cobertura antrópica. Como resultado de esta unión algunos polígonos de sistemas ecológicos quedaron divididos y cuando esto ocurre hacia los bordes, el resultado puede ser polígonos < 25 ha. Considerando que la aplicación de filtros para descartar estos polígonos menores puede ocasionar cambios en su clasificación, se decidió eliminar únicamente polígonos < 2 ha.



Figura 12. Área de remodelamiento cartográfico.

La descripción de la metodología aplicada por el CDC-UNALM para la identificación de las áreas con actividad antrópica se encuentra disponible en los enlaces al proyecto en la página Web de NatureServe: <[www.natureserve.org](http://www.natureserve.org)>.

### 1.3.2.2. Mapa de sistemas ecológicos de la Amazonía peruana

#### Mosaico de imágenes e información espacial

##### • Adquisición de imágenes

El mosaico de imágenes satelitales fue generado con 42 escenas Landsat 5 y 7, (sensores TM y ETM+ respectivamente) obtenidas originalmente en el marco del Proyecto BIODAMAZ (Convenio Perú-Finlandia) a junio de 2004. Durante la ejecución del presente proyecto se actualizaron diversas imágenes, priorizando las áreas con fuerte presión antrópica y consecuentemente sometidas a procesos acelerados de cambio de uso de la tierra. Las escenas utilizadas se muestran en el Cuadro 5.

##### • Pre-procesamiento de imágenes

Para ejecutar el procesamiento digital de las imágenes se utilizó el software ERDAS Imagine 8.4 en una plataforma Microsoft Windows XP.

Se emplearon técnicas de corrección radiométrica con el objeto de aplicar algoritmos que permitieron modificar los píxeles carentes de información (sal y pimienta) de algunas escenas, así como para corregir líneas de píxeles faltantes en otras (imágenes con más de cuatro líneas faltantes fueron rechazadas).

Path/Row	Fecha de Adquisición	Satélite	Sensor	Fuente
002-068	20050709	Landsat 5	TM	ND
002-069	19861025	Landsat 5	TM	Internet-TRFIC
003-067	19920618	Landsat 5	TM	Internet-GLCF
003-068	20050801	Landsat 5	TM	ND
003-069	19860712	Landsat 5	TM	Internet- TRFIC
004-062	19970510	Landsat 5	TM	Internet-GLCF
004-063	20031209	Landsat 7	ETM+	INRENA
004-066	19860703	Landsat 5	TM	Internet- TRFIC
004-067	19891007	Landsat 5	TM	Internet- TRFIC
004-068	19900916	Landsat 5	TM	Internet-GLCF
004-069	19930807	Landsat 5	TM	Internet-GLCF
005-062	20030122	Landsat 7	ETM+	INPE-FUNCATE
005-063	20030122	Landsat 7	ETM+	INRENA
005-066	19930830	Landsat 5	TM	Internet-GLCF
005-067	19940630	Landsat 5	TM	Internet-GLCF
005-068	19860726	Landsat 5	TM	Internet- TRFIC
005-069	19860726	Landsat 5	TM	Internet- TRFIC
006-061	19871101	Landsat 5	TM	Internet- TRFIC
006-062	20010312	Landsat 7	ETM+	Internet-GLCF
006-063	20050619	Landsat 5	TM	INPE-FUNCATE
006-064	19930805	Landsat 5	TM	Internet-GLCF
006-065	19930805	Landsat 5	TM	Internet-GLCF
006-066	20040803	Landsat 5	TM	INPE-FUNCATE
006-067	20040803	Landsat 5	TM	INPE-FUNCATE
006-068	19930805	Landsat 5	TM	Internet-GLCF
007-060	19860825	Landsat 5	TM	Internet-GLCF
007-061	19910401	Landsat 5	TM	Internet-GLCF
007-062	19990821	Landsat 7	ETM+	Internet-GLCF
007-063	19990821	Landsat 7	ETM+	Internet-GLCF
007-064	20010826	Landsat 7	ETM+	Internet-GLCF
007-065	19890825	Landsat 5	TM	Internet- TRFIC
007-066	20040131	Landsat 5	TM	INPE-FUNCATE
007-067	19970908	Landsat 5	TM	Internet-GLCF
008-060	19891222	Landsat 5	TM	Internet- TRFIC
008-061	19891222	Landsat 5	TM	Internet- TRFIC
008-062	19960811	Landsat 5	TM	Internet-GLCF
008-063	19841216	Landsat 5	TM	Internet- TRFIC
008-064	20041207	Landsat 5	TM	INPE-FUNCATE
008-065	20031018	Landsat 5	TM	INPE-FUNCATE
009-062	19990819	Landsat 7	ETM+	Internet-GLCF
009-062	20030721	Landsat 5	TM	INPE
009-063	19990819	Landsat 7	ETM+	Internet-GLCF
009-063	20030721	Landsat 5	TM	INPE
009-064	20030721	Landsat 5	TM	INPE

Cuadro 5. Imágenes Landsat utilizadas en la generación del mosaico para la Amazonía peruana.



Las imágenes conseguidas del INPE-FUNCATE fueron receptadas en formato GeoTIFF por lo que se aplicaron los procedimientos apropiados para cambiarlas a imágenes de formato ERDAS Imagine. Procedimientos de transformación facilitados por el software sirvieron para convertir el modelo geométrico Affine de estas mismas imágenes al modelo MapInfo.

De las 42 escenas utilizadas, carecieron de georeferenciación algunas de las obtenidas por el IIAP. Estas fueron sometidas a un proceso de corrección geométrica polinomial con el método de remuestreo del vecino más cercano (Nearest Neighbor). Los parámetros de la proyección utilizada están detallados en el Cuadro 6.

Proyección Cartográfica:	Universal Transverse Mercator
Zona UTM:	18 Sur
Falso Este:	500 000.000000
Falso Norte:	10 000 000.000000
Latitud de Origen:	0.000000
Longitud del Meridiano Central:	-75.000000
Factor de Escala en el Meridiano Central:	0.999600
Coordenadas Planas:	par ordenado x,y
Unidades de Distancias Planas:	metros
Datum Horizontal:	WGS1984
Elipsoide:	WGS1984
Semi-eje Mayor:	6378137.000000
Razón de Aplastamiento:	1/298.257224

Cuadro 6. Parámetros de la proyección de las imágenes de satélite y las capas temáticas utilizadas en el mapa de sistemas ecológicos.

Los puntos de control (Ground Control Points) fueron obtenidos de la Carta Nacional Planimétrica 1:100.000 para unas escenas, entanto que otras fueron georeferenciadas con la técnica Imagen-Imagen.

Con el objeto de proporcionar continuidad espacial a las escenas al generar el mosaico, las imágenes de las zonas 17 y 19 Sur fueron reprojectadas a la zona 18 Sur.

Las imágenes georeferenciadas con una resolución de 30 x 30 m se agruparon, por escenas, en una combinación de bandas 5, 4, 3 (RGB) que permite observar la vegetación en tonos de verde entanto que las áreas intervenidas en tonos de amarillo y fucsia, mientras que los cuerpos de agua con un alto contenido de material sedimentario en suspensión se perciben en tonalidades de azul, siendo de tonos

negros aquellos cuerpos de agua con una alta inclusión de compuestos húmicos. Otras tonalidades caracterizan a los diversos componentes específicos del paisaje.

• Generación del mosaico

Para la generación del mosaico fueron tomadas en cuenta las consideraciones anotadas en el Cuadro 7.

Adición de Imágenes:	Compute Active Area
Opciones de Matching:	Overlap Areas
Tipo de Histograma:	Band by Band
Función de Superposición	
Tipo de Intersección:	No Outline Exists
Selección de Función:	Overlay

Cuadro 7. Consideraciones cualitativas para la generación del mosaico de imágenes de satélite.

Al adicionar las imágenes se ensayaron los métodos empíricos siguientes:

1. Ensamblaje de las escenas considerando el correlativo del path/row iniciando con el menor (002/068) y culminando con el mayor (009/064).
2. Ensamblaje de las escenas considerando la fecha de adquisición, adicionando las escenas más recientes y luego las más antiguas.

El mejor resultado se obtuvo con el segundo método. La Figura 13 muestra el mosaico resultante.

• Calidad del Georeferenciamiento

No se ejecutaron ensayos formales para determinar la precisión de la georeferenciación; sin embargo, la superposición de los puntos de muestreos de campo (reconocimiento rápido para el mapa de sistemas ecológicos) tomados a lo largo de los ríos (unas veces en el talud del río y otras cerca de la orilla) con un GPS Garmin Vnavegador, muestran que estos coinciden en más del 90% con las posiciones esperadas, presentando una precisión estimada empíricamente como muy significativa.

Elaboración del mapa de Sistemas Ecológicos

Este mapa ha sido generado a partir de las coberturas temáticas (Cuadro 8) de fisiografía (FISIO), que cubre sectores específicos de la Amazonía peruana (cuenca del río Aguaytia, Región Madre de Dios, carretera Iquitos-Nauta, cuenca del río Nanay, Región San Martín, abanico del Pastaza), y de geomorfología (GEOMO) que cubre la selva baja peruana. De la cobertura FISIO se derivó el mapa de geomorfología (FISIOGEOM) para aquellas áreas específicas, mediante la adecuación de la terminología fisiográfica a la geomorfológica. Estos mapas se sobrepusieron al mosaico

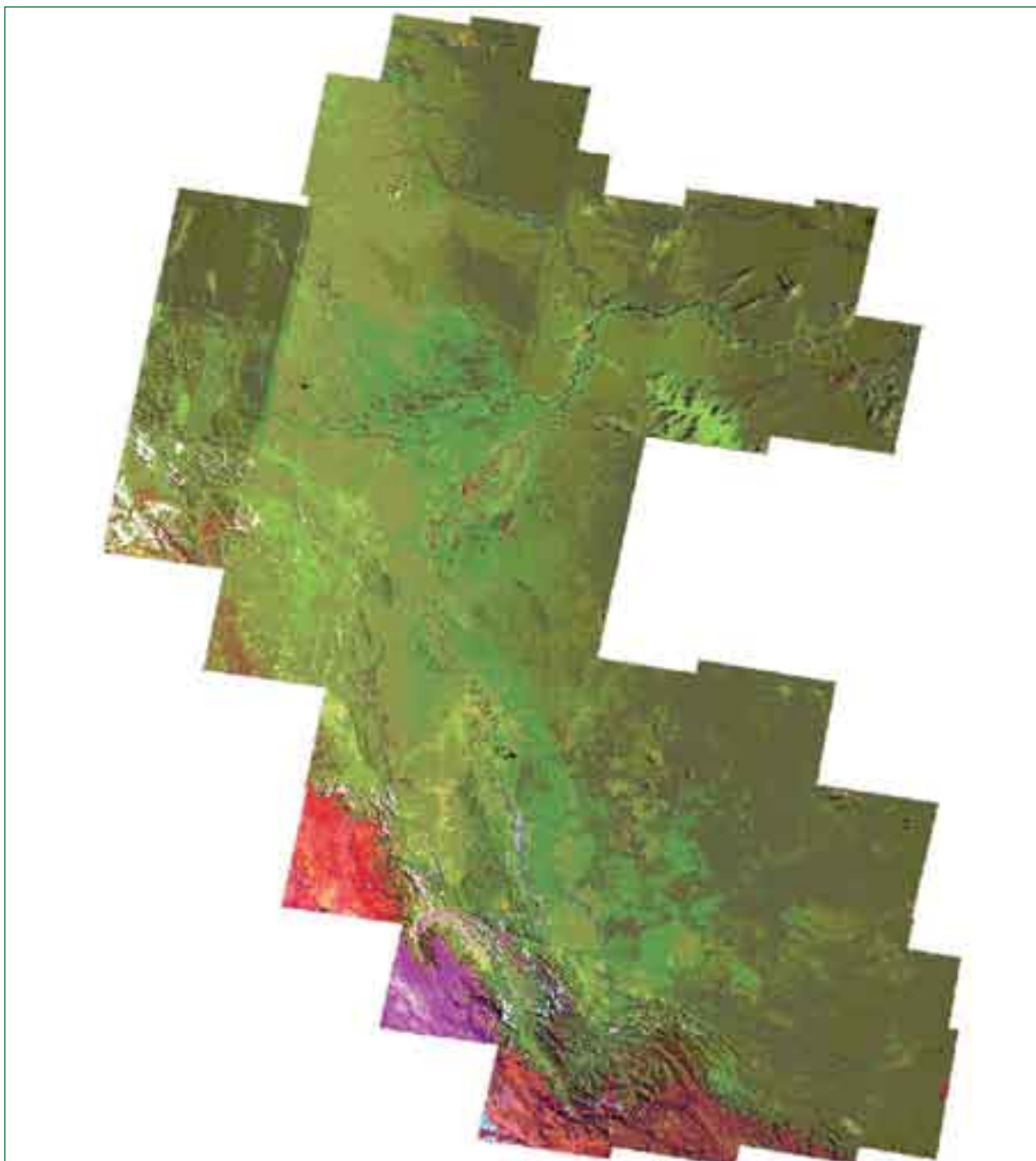


Figura 13. Mosaico de imágenes Landsat para la Amazonía Peruana.

de imágenes, y a partir de la cobertura FISIOGEOM se procedió a rectificar o ratificar la cobertura GEOMO existente y verificar los resultados de la transformación de los elementos fisiográficos en elementos geomorfológicos. Posteriormente, mediante una operación espacial de unión se procedió a unir las coberturas GEOMO y de geología (GEOLO) con el objeto de aportar características geológicas específicas (Capas Rojas, Formación Pebas, etc.) a los elementos geomorfológicos, resultando la cobertura GEOM\_GEOL. Luego, mediante la ejecución de una operación espacial de unión con la cobertura de vegetación de la Amazonía peruana (VEGETA) se incorporaron a GEOM\_GEOL características de la vegetación.

Adicionalmente se incorporó información de bioclima (BIOCLIMA), regiones ecológicas (REGION) y sub-regiones ecológicas (SUB\_REGION).

Por interpretación visual se procedió a digitalizar (escala 1: 60.000) la red hidrográfica, considerándose como ríos de formato polígono (RIOPOL), todos aquellos cuyos anchos fueron  $\geq 120$  m y aquellas lagunas y pantanos con un área  $\geq 25$  ha de espejo de agua.

Los otros cuerpos de agua fueron reconocidos como ríos de formato línea (RIOLIN). En seguida, mediante una acción espacial de borrado se procedió a excluir todos los

Tema	Cobertura	Tipo de elemento	Fuente	Escala de trabajo	Escala de publicación
FISIOGRAFÍA	Área de Influencia río Aguaytia	Polígono	CTAR Ucayali, IGN, IIAP, Imágenes Landsat 5 TM	: 100 000	1 : 250 000
	Región Madre de Dios	Polígono	CTAR Madre de Dios, IIAP, IGN, INADE, ONERN, INRENA	: 100 000	1 : 500 000
	Area de Influencia Carretera Iquitos-Nauta	Polígono	IIAP, IGN, Imágenes Landsat 5 TM	: 100 000	1 : 150 000
	Cuenca río Nanay	Polígono	IIAP, IGN, Imágenes Landsat 5 TM	: 100 000	1 : 250 000
	Abanico del Pastaza	Polígono	CDC-La Molina, IGN, IIAP, WWF, Imágenes Landsat 5 y 7 (TM y ETM+ )	: 100 000	1 : 600 000
GEOMORFOLOGÍA	Selva Baja Peruana	Polígono	IIAP, ONERN, Imágenes Landsat 5 y 7 (TM y ETM+ )	: 250 000	1 : 1 750 000
GEOLOGÍA	Selva Baja Peruana	Polígono	IIAP, ONERN, Imágenes Landsat 5 y 7 (TM y ETM+ )	: 250 000	1 : 1 500 000
VEGETACIÓN	Selva Baja Peruana	Polígono	IIAP, ONERN, Imágenes Landsat 5 y 7 (TM y ETM+ )	: 250 000	1 : 1 000 000
BIOCLIMA	Selva Baja Peruana	Polígono	IIAP		1 : 1 000 000
REGIÓN	Selva Baja Peruana	Polígono	Imágenes Landsat 5 y 7 (TM y ETM+ )	: 250 000	
SUB-REGIÓN	Selva Baja Peruana	Polígono	Imágenes Landsat 5 y 7 (TM y ETM+ )	: 250 000	
HIDROGRAFÍA	Selva Baja Peruana	Polígono	Imágenes Landsat 5 y 7 (TM y ETM+ )	: 250 000	
		Línea	Imágenes Landsat 5 y 7 (TM y ETM+ )	: 250 000	

Cuadro 8. Metadatos básicos de coberturas temáticas complementarias

elementos en GEOM\_GEOL que estuvieran incluidos dentro del área cubierta por los elementos de RIOPOL; luego se unieron las coberturas RIOPOL y GEOL\_GEOL con el objeto de incorporar el elemento hidrográfico a esta última, obteniéndose la cobertura SISECOL, que constituyó el mapa preliminar a partir del cual se planificó la etapa de muestreo en campo y sobre el cual luego se confrontaron los datos de campo para las rectificaciones necesarias.

El registro de la metadata básica de las coberturas antes señaladas se detalla en el Cuadro 8. Esas coberturas están proyectadas con el sistema que se resume en el Cuadro 6. El esquema del Modelo Cartográfico para la Determinación de los Sistemas Ecológicos se encuentra en la Figura 14.

**Muestreo en campo**

• Etapa de pre-campo en gabinete. Formularios de campo. Planificación de muestreo. Levantamiento de datos existentes. Materiales.

Las actividades en la fase de pre-campo en gabinete fueron las siguientes:

- Elaboración de una línea de base para la interpretación de los sistemas ecológicos: se consideró las variables físicas de geomorfología e hidrografía, las variables biológicas de clima y vegetación y las variables antropogénicas de deforestación.
- Acopio y análisis de documentación existente, conformada por:
  - Conjunto de literatura y mapas sobre geomorfología, hidrografía y clima de los sectores de trabajo.
  - Selección y evaluación de los inventarios (o parcelas) ya existentes, ejecutados en años anteriores, con base en colectas, inventarios florísticos y análisis florísticos.
  - Elaboración de una base de datos Excel para caracterización de 236 parcelas existentes o "ya muestreadas" (Figura 15).
- Análisis visual del mosaico de imágenes de satélite, en formato digital a escala 1:250.000, tomando en cuenta:

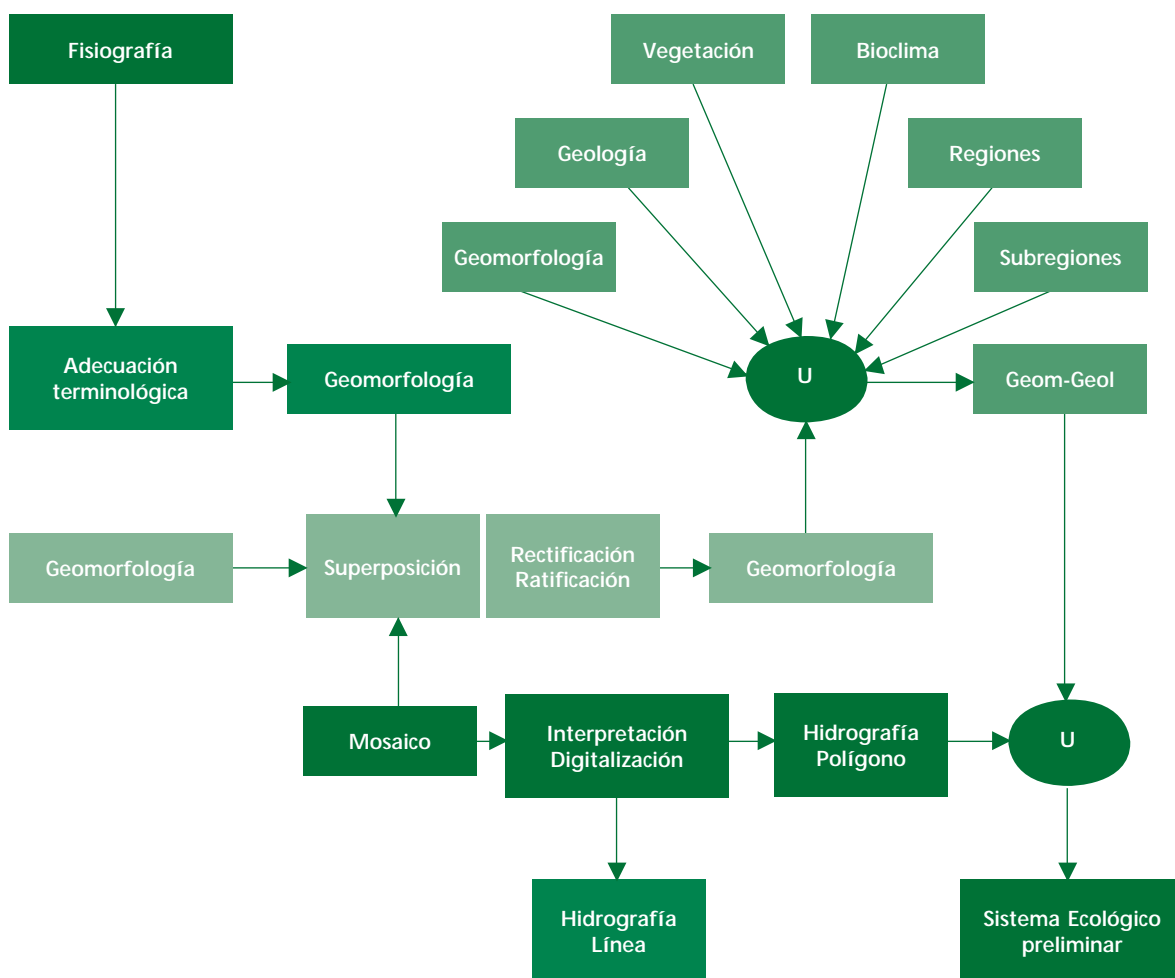


Figura 14. Modelo cartográfico para la determinación de los sistemas ecológicos de la Amazonía peruana.



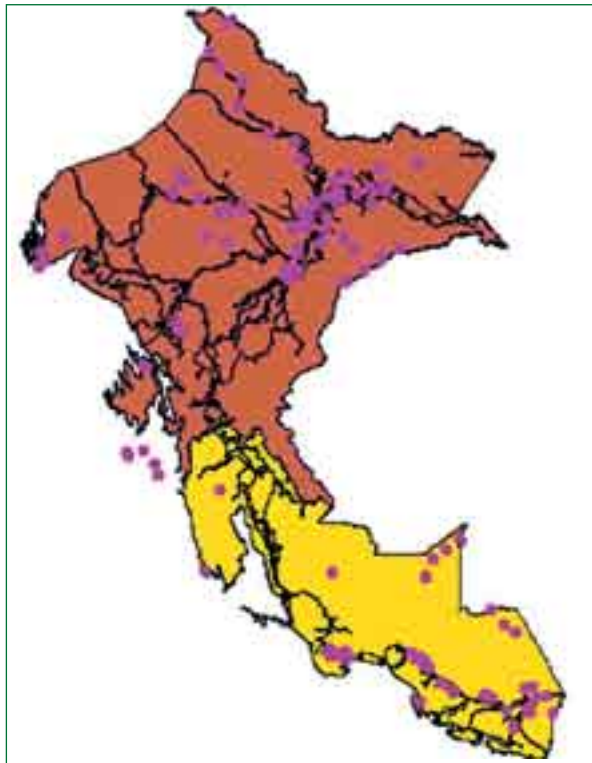


Figura 15. Distribución de las parcelas existentes con inventarios hasta 2004 (n=236).

- Fecha de la imagen para facilitar la confrontación de los sistemas en el contexto geográfico.
  - Nitidez de la imagen para distinguir a los sistemas en particular.
  - Textura o rugosidad aparente, composición o arreglo espacial detallado y variabilidad interna de las reflectancias existentes en la imagen.
- Tipificación de las regiones ecológicas y las correspondientes subregiones con la finalidad de facilitar la sistematización del análisis interpretativo. Como avance se tuvo:
    - La delimitación de territorios o grandes paisajes de: Amazonía occidental, Amazonía suroccidental y de áreas inundables, estratificados a su vez por las subregiones correspondientes.
    - Interpretación preliminar de los "sistemas ecológicos", en las correspondientes regiones y subregiones, sobre la base de la geomorfología e hidrografía y sus interrelaciones con la vegetación y el bioclima.
    - Intersección de los puntos geográficos de los inventarios o parcelas recopilados con el mosaico de imágenes de satélite.
  - Selección de las zonas de muestreo del Proyecto (Amazonía occidental y Amazonía suroccidental) (Cuadro 9), basado en las siguientes consideraciones:
    - Inclusión de las subregiones y sectores de muestreo de los diferentes sistemas.
    - Descarte de los sectores de muestreo con difícil accesibilidad por razones logísticas y conflictos sociales.
- Selección de las rutas a seguir para los muestreos: de una lista de sitios propuestos para muestrear la mayoría de los sistemas ecológicos, estratificados por las diferentes subregiones, se tuvo que descartar algunos por las dificultades de acceso o por tratarse de zonas que ya habían sido cubiertas por los inventarios existentes recopilados (Cuadro 9).
  - Elaboración de un formulario de campo basado en los criterios acordados con los diferentes equipos de mapeo para el levantamiento de información de los muestreos detallados y rápidos.
  - Selección del personal con condiciones para ejecutar trabajos en bosques de selva baja, que incluyó:
    - Capacitación y entrenamiento general para ejecutar la secuencia de inventarios.
    - Estandarización de criterios para el uso de los formularios de campo.
    - Estandarización en los usos de equipos de georeferenciación y orientación, de medición y calibración, y otros.
    - Instrucciones para la práctica de primeros auxilios.
    - Conformación de equipos obriguados de trabajo: los cuatro equipos de trabajo fueron conformados por un Licenciado en Botánica, como jefe; un estudiante de último nivel o egresado de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de la Amazonía, de Iquitos, como asistente; y un escalador de árboles, como técnico para las colectas. Fue previsto completar el equipo mediante contrato de dos moradores de los centros poblados cercanos, como guías asistentes con conocimientos sobre la vegetación del área y de la diversidad de las plantas locales. También fue prevista la participación de otros lugareños como abridores de trochas o senderos.
  - Adquisición y acopio de materiales y equipos para trabajos de campo.
    - Procesamiento de datos en el campo: PC portátil (Laptop) y accesorios varios.
    - Navegación y georeferenciación: GPS navegador GARMIN, brújulas SUNNTO, clinómetros y otros.
    - Visualización y registros de imágenes: binoculares BUSHNELL, cámaras fotográficas digitales.
    - Libretas de campo y formularios para muestreos detallados y rápidos.
    - Colecta de especímenes: tijeras podadoras con varillas telescópicas, tijeras manuales, herramientas varias, preservantes y accesorios varios.
    - Imágenes de satélite impresas 1:250.000 de los sectores elegidos.
    - Listado de inventarios ya realizados en el sector y de especies representativas, manuales, guías y libros para determinación taxonómica.
    - Equipo de camping.

Ruta	Localidades de Referencia	Regiones	Propuestos	Ejecutados
1	Chambira (bajo Amazonas)	Amazonía occidental	X	X
2	Yanashpa (bajo Amazonas)	Amazonía occidental	X	X
3	Copal Urco (Napo, Curaray/ Santa Clotilde)	Amazonía occidental	X	-
4	Santa Clara de Nanay	Amazonía occidental	X	-
5	Santa María/Napo	Amazonía occidental	X	-
6	Estación Quebrada Blanco/río Tahuayo	Amazonía occidental	X	-
7	Intuto/río Tigre	Amazonía occidental	X	X
8	Tierra Blanca/río Morona	Amazonía occidental	X	X
9	San Fernando (Boca Huitoyacu) río Pastaza	Amazonía occidental	X	X
10	Santa Martha (cerca Yurimaguas), río Huallaga	Amazonía occidental	X	X
11	Contamana/ río Ucayali	Amazonía occidental	X	X
12	Masisea/ río Ucayali	Amazonía sur occidental	X	X
13	Atalaya/ río Tambos / Urubamba	Amazonía sur occidental	X	X
14	Aguajal (río Las Piedras), río Madre de Dios	Amazonía sur occidental	X	X
15	Iberia/Iñapari (Acre-Tahuamanu), Madre de Dios	Amazonía sur occidental	X	X
?a	Río La Torre (río Madre de Dios)	Amazonía sur occidental	X	-
?b	Esperanza, río Purus	Amazonía sur occidental	X	-
?c	Curaray/Nashiño, río Napo	Amazonía occidental	X	X

Cuadro 9. Áreas de muestreo propuestas y ejecutadas para el estudio de sistemas ecológicos en la Amazonía peruana.

• Métodos de muestreo en campo. Tamaño y forma de parcela, tipos de muestras.

Los muestreos en selva baja, realizados por el equipo del IIAP, fueron ejecutados en tres campañas o expediciones entre mayo y noviembre de 2006 durante la temporada correspondiente a la estación “seca”. Las dos primeras expediciones han comprendido el sector norte de la selva baja peruana, utilizando la logística de transporte fluvial de uso exclusivo, y la tercera por el sector sur, utilizando la combinación de transporte aéreo, terrestre y fluvial. En las expediciones del sector norte participaron los cuatro equipos o brigadas de trabajo y el recorrido fue por los ríos Amazonas, Napo, Marañón, Tigre, Pastaza, Morona y Huallaga. En las expediciones del sur participaron tres brigadas que recorrieron el río Las Piedras, el tramo Puerto Maldonado-Iñapari y el río Ucayali.

Para el muestreo en campo, el transporte por vías fluviales o terrestres situaba a los equipos en las orillas de los ríos o laterales a la carretera, en el punto más cercano y accesible a los sistemas o unidades de muestreo seleccionadas. Generalmente los sitios adyacentes al río o la carretera son áreas deforestadas o tienen un complejo de uso agrícola y vegetación secundaria (“complejo de chacras y purmas”), por lo que era necesario caminar de una a dos horas, correspondientes a 4-10 km, para arribar al punto de muestreo.

Los tamaños de las parcelas y los distanciamientos entre ellos fueron de dos tipos.

- En los bosques adyacentes a los ríos Napo y bajo Amazonas (primera expedición), las parcelas fueron delineadas de formas circulares de 10 m de radio (= 0,03 ha) y separadas 100 m entre cada una de ellas, en grupos de 4 a más, siguiendo la longitud del eje mayor del polígono predefinido.
- En los bosques inventariados en la segunda y tercera expediciones, las parcelas fueron demarcadas en rectángulos de 20 x 50 m (= 0,1 ha), con distanciamientos de 2 km entre cada una de ellas.

Los muestreos fueron de dos tipos: detallados y rápidos. Los muestreos rápidos fueron ejecutados en todas las expediciones durante la navegación de traslado entre sectores de muestreo, y algunos a pie en el sector Madre de Dios.

- Los muestreos detallados incluyeron anotaciones del aspecto panorámico del paisaje en un campo visual de 30 m, con anotaciones de:
  - Georeferenciación en el sistema de coordenadas UTM
  - Estimado del gradiente de intervención humana.
  - Tipo y estado de relieve y descripción del suelo y hojarasca.
  - Descripción genérica de la estructura y listado de la composición del sotobosque, de los estratos y del dosel.
  - Registros fotográficos panorámicos del sotobosque, estratos y dosel.
  - Mediciones del diámetro y alto de los fustes y alto total y registros fotográficos.

- Tipos de cobertura.
- Ocurrencias fenológicas de floración, fructificación, defoliación, etc.
- Colecta de especímenes de herbario fértiles e infértiles, y registros fotográficos.

• Los muestreos rápidos, también llamados complementarios o de verificación, fueron aplicados mediante el uso de binoculares en los sistemas de orillas y riberas previamente bien caracterizados, y después de una distinción panorámica entre sistemas adyacentes. El inventario o muestreo fue en un sector espacial de 100 a 200 m a una velocidad de 10 a 12 km/hora en desplazamientos fluviales en el sentido de la corriente y 7 a 8 km/hora cuando fue contra la corriente. Las anotaciones incluyeron:

- Georeferenciación de los puntos de inicio y término de los muestreos.
- Caracterización del relieve del sustrato y estado de inundación diferenciable en el conjunto de sistemas pantanosos.
- Estimación del grado de intervención humana.
- Descripción de la estructura de las comunidades y listado composición de las especies conspicuas.
- Registros fotográficos.
- Colectas ocasionales cuando las formas vegetales aparentaban ser diferentes a las conocidas o presentaban polimorfía.

El listado de las especies corresponde a una determinación preliminar o de campo. La colecta de especímenes y el procesamiento siguen los pasos clásicos y convencionales desde el acopio de las muestras, el traslado al campamento, preservación, traslado al IIAP y secado.

La información detallada de cada punto de muestreo, que incluye listado de especies y de fotografías está en una base de datos Access disponible a los usuarios en los enlaces al proyecto, en la página web de NatureServe: <[www.natureserve.org](http://www.natureserve.org)>.

• Etapa de gabinete pos-campo. Validación del mapa preliminar. Identificación de muestras.

Las actividades pos campo se realizaron en la siguiente secuencia: (1) Validación del mapa preliminar sobre la base de las experiencias y la información de las muestras de campo, y correcciones y reajustes en los contextos geomorfológicos e hidrográficos, con los ajustes correspondientes en el componente de la vegetación; y (2) Procesamiento y tratamiento taxonómico sistemático de los especímenes colectados para la selección de especies representativas, complementados con las referencias de las parcelas ya inventariadas.

• Validación del mapa preliminar. Con el uso de las muestras de referencia, se ejecutó una fase de verificación del mapa preliminar de sistemas ecológicos. El procedimiento fue el siguiente:

-Superposición de los puntos de muestreo en el mapa preliminar. De los 1.100 puntos de muestreo tomados, 56% se utilizó en la verificación o corrección del mapa preliminar y 44% fue reservado para uso exclusivo en la evaluación de precisión del mapa final.

-Revisión de la correspondencia entre los sistemas del mapa preliminar con la información y caracterización de los muestreos de campo. Este paso fue ejecutado mediante la interpretación visual del mosaico de imágenes de satélite y de las escenas individuales, con el fin de identificar en la imagen el patrón que resulta de la relación entre los caracteres geomorfológicos y las adaptaciones de la vegetación a las influencias de la dinámica fluvial periódico-estacional.

-Extrapolación visual para cada una de las clases. Con base en el paso anterior y observando sobre la imagen las características diferenciales de reflectancia, textura y contexto espacial, asociadas a cada punto donde se conoce con certeza el sistema ecológico existente a partir de la información de campo, se identifican las áreas regionales de los sistemas ecológicos.

-Reajustes de los polígonos de los sistemas ecológicos. Ejecutado mediante la digitalización manual en el mosaico de imágenes de satélite sobre el área de cada sistema. Como resultado del proceso, algunos polígonos fueron divididos y otros contiguos fueron integrados en uno. Naturalmente, también se realizaron cambios en la denominación de algunos sistemas.

-Edición del mapa de sistemas ecológicos: mediante la unión de los arcos o vectores siguiendo un control de calidad y análisis de precisión.

• Procesamiento y tratamiento taxonómico sistemático de los especímenes colectados.

Uno de los criterios para la clasificación de los sistemas ecológicos es la composición de especies representativas de uno o un conjunto de unidades de vegetación. Con esa finalidad fueron realizadas colectas botánicas, las mismas que fueron trasladadas hasta el centro de operaciones en el IIAP, donde el procesamiento de los especímenes consistió en:

-Prensado y secado de las muestras siguiendo procedimientos convencionales.

-Determinación taxonómico-sistemática de los especímenes: sobre la base de la determinación preliminar de campo, se procedió a la comparación con muestras existentes, ya determinadas, en los herbarios AMAZ (Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Iquitos) y USM (Museo de Historia Natural de la UNMSM, Lima) y consultas con botánicos especializados para la determinación sistemática definitiva.

-Selección de las especies representativas: luego del proceso de reajuste de los polígonos y con el objeto de identificar especies representativas para cada clase de sistema ecológico se calcularon los índices de similitud de composición florística entre las muestras a nivel del taxón Género. De los resultados se obtuvo:

- Ocurrencia de especies y grupos de especies con distribución restringida a los sistemas ecológicos o ambientes que presentan condicionantes ecológicos extremos en los substratos, como suelos arenosos, pantanosos, o excesiva erosión. En estos sistemas se puede distinguir especies representativas diferenciales.
- Presencia de especies o grupos de especies con amplia distribución en varios sistemas ecológicos donde los condicionantes ambientales no son extremos. Se manifiestan eso sí, polimorfias en las estructuras. No se puede distinguir especies representativas.
- Al incluir en el análisis de similitud entre sistemas ecológicos, la abundancia por especies o grupos de especies, la máxima similitud entre los sistemas es de 0,3 (rango 0-1), que indica existencia de notables diferencias entre las mismas.

-Asignación de sistemas ecológicos: como resultado de la comparación entre inventarios, se identifican las comunidades vegetales presentes y se asignan definitivamente en gabinete a los sistemas ecológicos para cada punto de inventario.

• Base de datos de muestras de campo con anexo de colecciones botánicas por punto de muestra.

En total fueron tomadas en el campo 1.100 muestras de validación entre parcelas de muestreo detallados y puntos de muestreo rápidos durante la ejecución de la fase de campo entre mayo y noviembre de 2006 (Cuadros 10 y 11). Del total de los 355 puntos de muestreo detallados y 745 puntos rápidos, 484 se reservaron para la evaluación de la precisión del mapa final y el resto (56%) fue utilizado para verificación en la producción del mapa de sistemas ecológicos de la Amazonía peruana (Cuadro 11), complementando los datos referenciales de 236 puntos de la información recopilada hasta 2004 (Figura 15).



Exp.	Regiones	Tipo / número de parcelas	Área parcela/ área total (ha)	% muestreados
I	Amazonía occidental: ríos Napo y Bajo Amazonas	Círculos, radio 10 m / 223	0,031 = 7,005	62,82
II	Amazonía occidental: ríos Tigre, Marañón, Pastaza, Morona y Huallaga	Rectángulos, 20 x 50 m / 78*	0,1 = 7,8	21,97
III	Amazonía suroccidental: Madre de Dios, Urubamba y Ucayali	Rectángulos, 20 x 50 m / 54	0,1 = 5,4	15,21
	<b>Total parcelas/ total area</b>	<b>355 (Círculos 223, Rectángulos 133)</b>	<b>20,205</b>	<b>100,00</b>

Cuadro 10. Total de puntos de muestreos detallados en la Amazonía peruana. Mayo-octubre 2006.

Expedición	Tipos muestreos	No de muestras	% del total muestras	Reservados	%	Analizados	% del total muestras
I	Detallados*	223	20,27	104	9,45	119	10,82
	Rápidos**	251	22,81	88	8,0	163	14,82
II	Detallados*	78	7,07	24	2,18	54	4,91
	Rápidos**	389	35,36	109	9,91	280	25,45
III	Detallados*	54	4,91	54	4,91	0	0
	Rápidos**	105	9,54	105	9,55	0	0
	<b>Total</b>	<b>1100</b>	<b>100,00</b>	<b>484</b>	<b>44,00</b>	<b>616</b>	<b>56,00</b>

\* Registro total de individuos, DAP, alto total, fenología, y colecta

\*\* Los muestreos rápidos corresponden a sectores de muestreos, con visualización rápida y registro de especies con mayor abundancia, colectas ocasionales.

Cuadro 11. Total de muestras de campo en la Amazonía peruana y número de las mismas analizadas.

### 1.3.2.3. Mapa de sistemas ecológicos de las Yungas, la Amazonía y las Sabanas del Beni de Bolivia

#### Mosaicos de Imágenes e Información Espacial

La base de georeferencia e interpretación de los sistemas ecológicos han sido los mosaicos GEOCOVER de la Agencia Espacial Norteamericana NASA, que se detallan a continuación:

Mosaic ID S-19-05, S-19-10, S-19-15, S-19-20, S-20-05, S-20-10, S-20-15, S-20-20, S-21-15; FileFormat Musid; Platform Landsat; Sensor ETM; Bands 7, 4, 2; Pixel size 14,25 m x 14,25 m; Projection UTM 19, 20, 21; Datum WGS84; Spheroid WGS84; Units Meters; Latest Component Acquisition Date 20010919; Earliest Component Acquisition Date 19990815.

Los mosaicos fueron georeferenciados a coordenadas UTM zona 19 y 20, datum y esferoide WGS 84, las únicas bandas disponibles en los mosaicos geocover son las 7, 4, 2, del captor ETM+, fusionadas con la banda pancromática, de manera que se obtiene una mejor resolución espacial.

Los mosaicos fueron combinados en falso color (4, 7, 2 RGB), de manera que la vegetación frondosa resalta en color rojo. Se sobrepusó la información secundaria para cada zona UTM, incluyendo la información georeferenciada recolectada en campo.

Si bien no se efectuó un control sistemático sobre la georeferenciación de los mosaicos geocover de la NASA, la concordancia de puntos georeferenciados de control,

recogidos en campo con GPS navegador Garmin sobre los mosaicos, mostró una precisión mayor a la esperada a esa escala de trabajo.

Adicionalmente a los mosaicos de imágenes anteriormente descritos, se recopiló información secundaria digital, utilizada muy puntualmente debido a que proviene de diferentes escalas y fuentes (cuadro 12).

#### • Modelo cartográfico

El siguiente diagrama de flujo (Fig. 16), muestra de manera esquemática y resumida el proceso de elaboración de la cartografía de sistemas ecológicos para el Beni, Amazonía y los Yungas de Bolivia.

#### Elaboración del mapa de Sistemas Ecológicos

##### • Etapa de pre-campo en gabinete

Las actividades metodológicas en la fase previa al campo y de preparación del muestreo, son las siguientes:

- Análisis de la literatura existente, particularmente la referente a la geología, edafología, bioclima y vegetación de las zonas a recorrer.
- Estudio y recopilación de las cartas topográficas y geográficas.
- Estudio y recopilación de las colectas e inventarios florísticos realizados en la zona.
- Elaboración de formularios para registro de datos de campo.

Tema	Fuente	Escala/Resolución	Formato	Extensión
Zonas de vegetación de Bolivia	Navarro & Ferreira, 2004	1:7.000.000	Polígonos	SHP
Bioclima	SENAMHI		Puntos	SHP
Biogeografía	Rivas-Martinez et al 2002	1:10.000.000	Raster	TIF
Geología	IGM 2000	1:1.000.000	Raster	TIF
Físico	IGM 2000	1:1.000.000	Raster	TIF
Topográficos	IGM	1:250.000	Vector	DGN
Vías de comunicación	VMMA 2000	1:1.000.000	Vector	SHP
Red hidrográfica	VMMA 2000	1:1.000.000	Vector	SHP
Centros poblados	VMMA 2000	1:1.000.000	Puntos	SHP
Limites políticos administrativos	VMMA 2000	1:1.000.000	Polígonos	SHP
Modelo digital de elevación	NASA 2003	90 m andes 14,5 m llanos	Raster	RRD
Conductividad del agua	Navarro & Ferreira 2006		Puntos	SHP
Suelos	Laboratorio de Suelos Univ. San Simón		Puntos	SHP

Cuadro 12. Capas temáticas espaciales utilizadas.

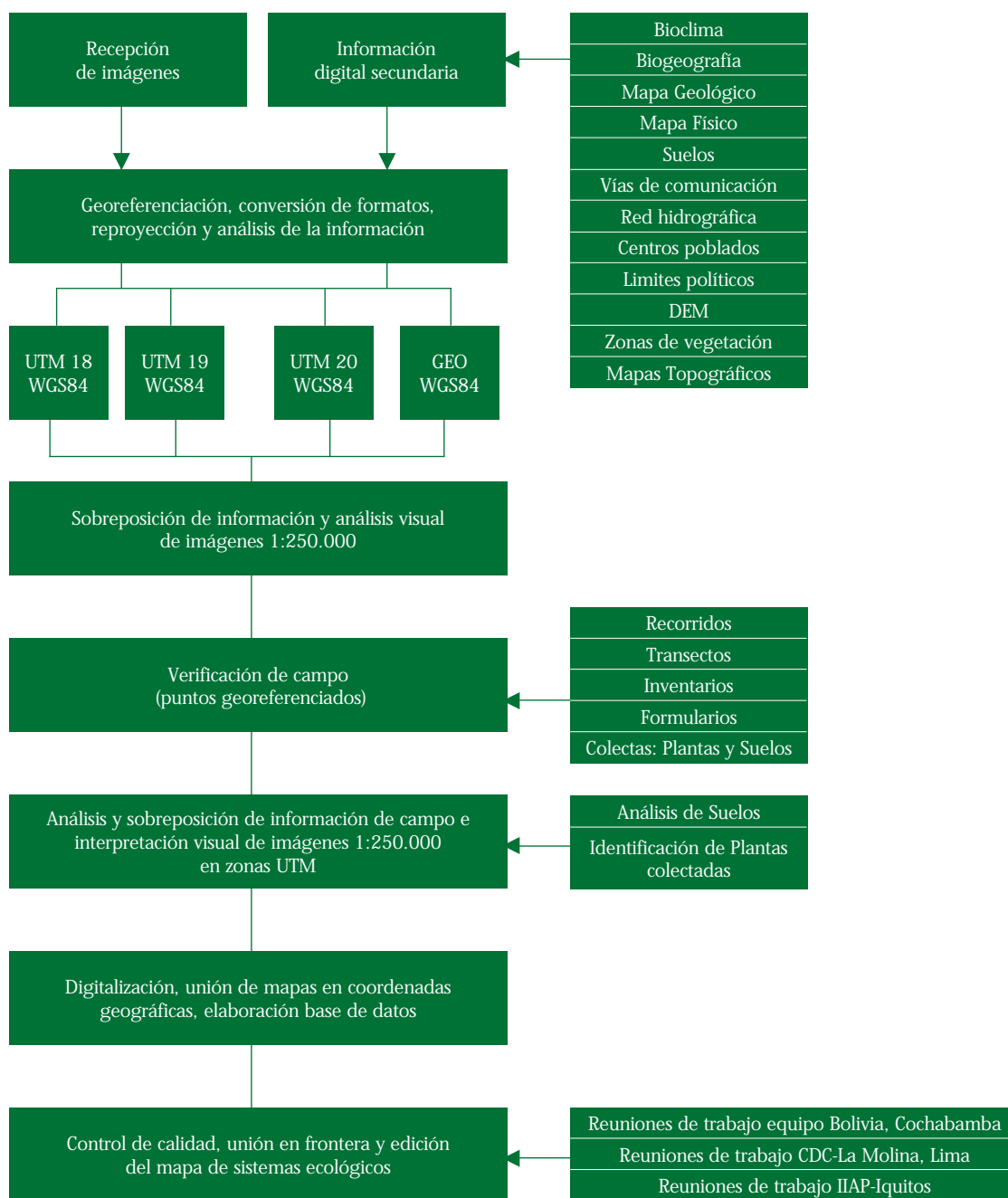


Figura 16. Proceso metodológico esquemático para la elaboración del mapa de sistemas ecológicos del Beni, Amazonía y Yungas de Bolivia.

- Elaboración de la base de información espacial e incorporación a las imágenes.
  - Estudio visual de las imágenes de satélite en formato digital e impresas a escala 1:250.000, en falso color en papel fotográfico de alta calidad, identificando preliminarmente zonas problemáticas a muestrear en relación a la experiencia previa y a la existencia de características desconocidas intrínsecas a la imagen, fundamentalmente:
    - Reflectancia (falso color): tonos problemáticos de la imagen, no asociados con certeza a un sistema particular.
    - Textura: tamaño de grano, rugosidad aparente y composición o arreglo espacial detallado y variabilidad interna de los tipos de reflectancias existentes en la imagen.
    - Contexto geográfico: pautas repetitivas características a escala regional, vinculadas a cada zona de la imagen.
  - Para todas aquellas áreas con características en la imagen no asociadas con claridad a algún sistema ecológico, se fijaron puntos previos a muestrear y comprobar en campo, con objeto de recabar datos que permitan la posterior asignación de los mismos a los diferentes sistemas.
  - Finalmente, los puntos seleccionados en base a los criterios listados y como resultado del programa SPOT, se optimizan y reducen en función de la accesibilidad de las zonas y del tiempo disponible en campo.
  - Preparación de material para campo: GPS navegador GARMIN, Altimetro TOMMSSEN calibrado en puntos de primer orden, brújulas, eclímetros, formularios de campo (rápidos y detallados), pico de Loro, conductímetro, tijeras podadoras, machetes, imágenes impresas 1:250.000, mapas topográficos, mapa geológico, listado de estaciones meteorológicas con índices bioclimáticos, listas de plantas claves e inventarios realizados en la zona, libros y guías para identificación de plantas en campo, material de camping y de herbario.
  - Métodos de muestreo en campo
 

La toma de muestras en campo para el proyecto en Bolivia ha sido efectuada en varias campañas de campo durante la época seca de los años 2005 y 2006. Cada campaña incluía además del equipo base, botánicos del Herbario Nacional de Bolivia, ocasionalmente un ornitólogo del Centro de Biodiversidad y Genética de la Universidad Mayor de San Simón, ambas instituciones de Cochabamba, además de guías expertos locales. Las campañas de campo se restringieron a recorridos en movilidad, deslizadores y jornadas a pie de varias horas a varios días por las zonas de mayor accesibilidad. Además de las muestras colectadas bajo este proyecto en los años mencionados, los autores recolectaron muestras tomadas en proyectos previos que también fueron utilizadas.
- El equipo de Bolivia se basó principalmente en las siguientes técnicas y métodos:
- Selección de puntos de inventario en los principales tipos de vegetación recorridos en cada itinerario. En función del número de puntos ya colectados previamente y del grado de certeza en la identificación de la vegetación y sistema ecológico de esos puntos, se realiza o bien un inventario detallado o un inventario rápido y corto.
  - En los inventarios detallados, se llenaron todos los campos del formulario, realizando la toma de datos en transecciones geobotánicas al largo de franjas o bandas de longitud variable, generalmente entre 20 m y 200 m según el tipo de vegetación y sus características de estructura, homogeneidad y repetitividad. La anchura de estas bandas de muestreo varía entre 2 m para formaciones herbáceas y aproximadamente 6-8 m para formaciones arbóreas o arbustivas. Adicionalmente a los datos requeridos en el formulario, se tomaron datos adicionales:
    - Colección de muestras de plantas importantes de la formación muestreada y cuya identificación no es certera en campo. Las listas de muestras colectadas para cada punto de muestreo y para cada salida de campo se adjuntan en los anexos.
    - Muestras de suelo en puntos representativos y homogéneos de cada sistema ecológico fundamental. En todos los casos, se muestreó únicamente el horizonte sub-superficial, aproximadamente entre 20 cm y 40 cm de profundidad, por ser el menos afectado por la materia orgánica de cada tipo de vegetación.
    - Medida de la conductividad eléctrica del agua de arroyos, charcas u otros cuerpos de agua existentes en el inventario o sus proximidades.
  - En los inventarios cortos o rápidos, en la mayor parte de los casos realizados desde el vehículo, únicamente se registra el sistema ecológico y algunos datos fundamentales del ambiente. Algunos inventarios rápidos, corresponden únicamente a un mapa puntual de muestras de suelos en sistemas ecológicos conocidos o a medidas de conductividad del agua al cortar ríos o arroyos.
  - La información completa para cada punto de muestra se encuentra en las bases de datos Access desarrolladas en el marco de este proyecto.
  - Etapa de gabinete post-campo. Validación del mapa preliminar, identificación de muestras
 

Los pasos seguidos en gabinete para la asignación de muestras de campo y para la poligonización cartográfica sobre la imagen de los sistemas ecológicos, se resumen a continuación:

    - Procesamiento e identificación taxonómica de muestras botánicas colectadas. Esta identificación se llevó a cabo en

los herbarios bolivianos de Cochabamba (BOLV) y de La Paz (LPB) con apoyo de especialistas de Missouri Botanical Garden (MO) para muestras difíciles.

- Análisis de las muestras de suelos tomadas en campo. Las variables analizadas, son:
  - Bases intercambiables (Ca, Mg, K, Na)
  - Elementos con valor diagnóstico: Fe, Al, S
  - Capacidad de intercambio catiónico
  - % de saturación del complejo de cambio
  - pH y conductividad eléctrica
  - vi. Textura
- Comparación florístico-ecológica regional de las listas de plantas anotadas en cada inventario y de las condiciones edáficas y bioclimáticas existentes en cada uno de los puntos. Los descriptores analizados en esta comparación, son:
  - Existencia de especies y grupos de especies restringidos o de distribución preferente para determinados sistemas ecológicos o ambientes.
  - Existencia de condicionadas edáficas y bioclimáticas diferenciales para inventarios o grupos de inventarios.
- Asignación de sistemas ecológicos. Como resultado de la comparación entre inventarios, se identifican las comunidades vegetales presentes y se asignan definitivamente en gabinete los sistemas ecológicos para cada punto de inventario.
- Superposición en las imágenes de satélite de los puntos de muestreo en campo, observando sobre la imagen las características diferenciales de reflectancia, textura y contexto espacial, asociadas a cada punto donde se conoce con certeza el sistema ecológico existente a partir de la información de campo.
- Interpretación visual de las imágenes. Se realiza mediante la extrapolación visual sobre las imágenes de las áreas regionales de los sistemas ecológicos a partir de las áreas locales conocidas en campo. Esta extrapolación se lleva a cabo por comparación directa en las imágenes de las características perceptuales de reflectancia (falso color), textura, contexto espacial e información secundaria, i.e. capas temáticas espaciales.
- Poligonización de sistemas ecológicos. Como resultado y expresión de los pasos metodológicos anteriores, se lleva a cabo el dibujo y poligonización manual sobre las imágenes del área ocupada o cubierta por cada sistema, para cada zona.
- Digitalización, unión de segmentos, control de calidad y análisis de precisión. La digitalización se efectúa mediante la vectorización de los segmentos interpretados visualmente, estos vectores son convertidos a polígonos, se asignan

valores y se unen sobre los mosaicos hasta completar cada zona UTM, luego se proyectan a coordenadas geográficas y se unen en un solo mapa, que es revisado por el equipo técnico sobre pantalla en sectores aleatorios, o identificados previamente por alguna anomalía o particularidad. Para el análisis de precisión del mapa se han reservado el 25% de los puntos muestreados en campo.

### 1.3.3 EVALUACIÓN DE LA PRECISIÓN TEMÁTICA DEL MAPA

Mapas temáticos derivados del uso de sensores remotos, especialmente mapas de vegetación y uso del suelo, son generalmente usados en diferentes tipos de evaluaciones ambientales, planificación de la conservación, análisis para el desarrollo de políticas, o como insumos para distintos tipos de modelos. Muy a menudo estos usos se producen por parte de investigadores no asociados a los autores originales. Es por este motivo que se considera cada vez más importante proveer a los usuarios un estimado de la precisión del mapa publicado, además de toda la información posible sobre su metadata y su desarrollo. Este tipo de información es necesaria para que el usuario considere si el uso de determinado mapa es apropiado para sus fines (Powell et al. 2004).

Conocer el grado de precisión del mapa también es importante y útil para los autores del mapa, porque el proceso permite señalar las fuentes de error, o las debilidades de la metodología o la clasificación aplicadas (Powell et al. 2004).

En este caso el objetivo es evaluar la precisión temática del mapa. Debido a las varias reproyecciones geográficas que se han hecho para acomodar un área tan grande y diferentes equipos de mapeo, así como debido al uso que puede tener este producto, es posible permitir cierto nivel de desfase o error posicional y este aspecto se considera en el diseño del muestreo para la producción de muestras de referencia.

Este tipo de evaluación representa algunos desafíos. En primer lugar por la naturaleza misma del tema representado en el mapa, que consiste en patrones de vegetación en respuesta a determinados ambientes físicos. Este tema involucra delimitar unidades discretas en un medio que en realidad es un continuo (Gopal & Woodcock 1994), objetivo que se dificulta más aún si se considera que las imágenes satelitales utilizadas como base en la interpretación, independientemente de su resolución espacial, incluyen píxeles mixtos, y a sea en situaciones de borde, en ecotonos o zonas de transición entre una cobertura y otra.

Debido a esta realidad de la clasificación ecológica, se han desarrollado métodos para aplicar la lógica difusa a las evaluaciones de precisión (Gopal & Woodcock 1994), donde



se crean índices de similitud difusa basados en adjudicar a cada clase una medida cuantitativa de similitud ecológica con cada una de las otras clases, de modo que clases con determinado nivel de similitud se consideran como aciertos.

Sin embargo, el análisis más tradicional es el que se conduce utilizando una matriz de error cuyo resultado se basa en una lógica binaria: la muestra de referencia corresponde o no con el mapa.

Hay abundante literatura sobre la metodología y los cálculos estadísticos necesarios para determinar el tamaño de muestra y las diferentes posibilidades y tipos de análisis y reporte de los resultados, para llevar a cabo una evaluación estadísticamente robusta (Congalton 1991, Congalton & Green 1999, Foody 2002, Wulder et al. 2006). Lo que no es abundante todavía es la literatura sobre la implementación de este tipo de evaluación: el tipo de muestras de referencia que se pueden usar, las condiciones bajo las cuales se pueden usar diferentes tipos, la interpretación de las muestras de referencia y la interpretación de los resultados obtenidos de la aplicación de diferentes cálculos estadísticos.

Los pasos metodológicos y las diferentes decisiones adoptadas para llevar a cabo la evaluación de los mapas de sistemas ecológicos de este proyecto, así como los resultados de la evaluación, se describen en detalle en el informe dedicado específicamente a este tema que estará disponible en la página web de NatureServe: <[www.natureserve.org](http://www.natureserve.org)>. Como adelanto, se puede reportar que se realizará una evaluación estadísticamente más robusta en el mapa correspondiente a la Amazonía peruana, mientras que en las Yungas peruanas y en el mapa de Bolivia, la evaluación de la precisión se aplicará solo a aquellas clases con suficientes muestras de campo disponibles.

En el caso de la Amazonía peruana se ha contado con muestras fotográficas tomadas a lo largo de rutas de sobrevuelo, además de muestras de campo seleccionadas en áreas donde los sobrevuelos no se pudieron realizar (Figuras 17 y 18). Estas muestras fotográficas de alta resolución son interpretadas como muestra de referencia y asignadas a un sistema ecológico y luego se comparan con el mapa.



Figura 17. Ejemplo de una muestra fotográfica aérea.

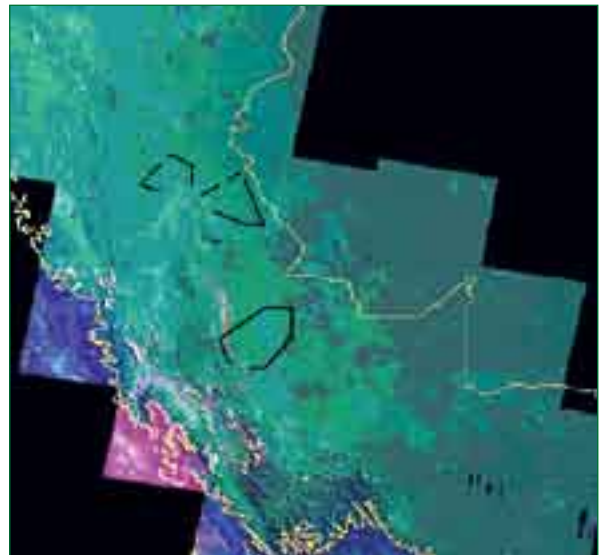


Figura 18. Rutas de sobrevuelo para toma de muestras fotográficas sobre la Amazonía peruana.



Confluencia de los ríos Marañón y Samiría, Loreto, Walter H. Wust

## 2. Resultados

### 2.1. ESTADÍSTICAS ESPACIALES Y DISTRIBUCIÓN DE LOS SISTEMAS ECOLÓGICOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO

La definición inicial de los límites del área de estudio en el extremo sur se basó en los límites de las ecorregiones incluidas en el proyecto, según la delineación de las mismas al año 2004 (Ecorregiones WWF, página Web), así definida el área de estudio abarca 1.249.281,7 km<sup>2</sup> y es sobre la base de esta área que se presentan las estadísticas y resultados finales para mantener la consistencia entre los componentes del proyecto. Sin embargo, cabe resaltar que como resultado de la producción del mapa de sistemas ecológicos, el área total cartografiada es algo superior y consideramos que sus límites representan con mayor precisión, gracias a la verificación de campo, el límite entre la ecorregión Madeira Tapajós (provincia biogeográfica de Amazonía Centro-Sur, parte del proyecto) y la ecorregión de los bosques Chiquitanos de Bolivia (provincia biogeográfica del Cerrado, fuera del proyecto). El mapa de sistemas ecológicos publicado y disponible en el sitio web del proyecto corresponde al área total cartografiada y la diferencia de límites se grafica en la Figura 19.

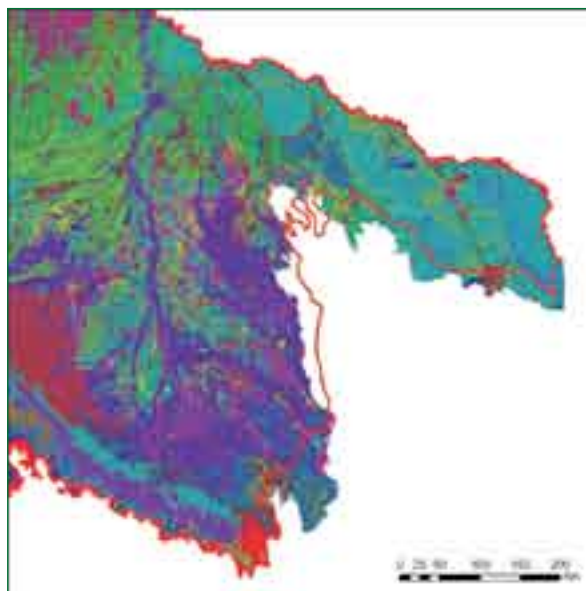


Figura 19. Límite sur del área de estudio representado por la línea roja y, mapa de sistemas ecológicos.

El cuadro a continuación muestra la extensión de cada una de las regiones por país:

País	% del territorio nacional	Región	Área (km <sup>2</sup> )
Perú	62	Yungas	127.112
		Amazonía	667.600
Bolivia	42	Yungas	51.237
		Amazonía	214.041
		Beni	189.292

Cuadro 13. Área de las regiones por país en el área de estudio.

El número total de sistemas ecológicos identificados dentro del área de estudio es de 84, sin embargo individualmente han sido mapeados solo 81 sistemas, los otros se encuentran capturados en alguno de los 10 complejos que también han sido cartografiados y hacen parte de la leyenda del mapa (Cuadro 1).

Al calcular la proporción del área de estudio total que ocupa cada una de las tres grandes regiones ecológicas: Amazonía, Andes y Beni utilizando para el cálculo el área cubierta por los sistemas propios de cada una, se obtiene la siguiente distribución, Figura 20.

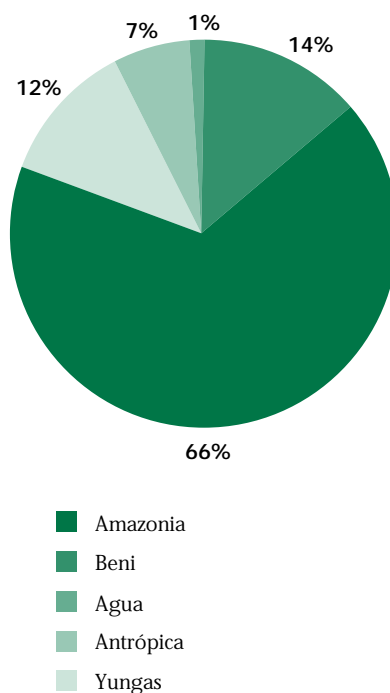


Figura 20. Subdivisión del área de estudio.



Pese a que la región de Yungas solo representa el 12% del área de estudio, en ella se han cartografiado 37 sistemas ecológicos, mientras que en la Amazonía, con el 66% del área, se han cartografiado 32 clases de sistemas. En el Beni están representados 13 sistemas ecológicos propios del Beni además de sistemas amazónicos del grupo de los inundables y riparios principalmente, y gran parte del área solo pudo cartografiarse como complejos, pues en ciertas condiciones forman mosaicos en los que no es posible discriminar sistemas individuales a esta escala de trabajo. En la Figura 21 se presenta la distribución de sistemas ecológicos cartografiados por país y región.

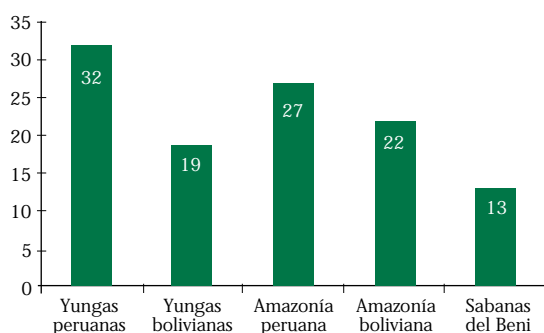


Figura 21. Sistemas ecológicos cartografiados por región.

### Sistemas Ecológicos Andinos

De los 37 sistemas andinos en el área de estudio, 3 son únicos para Bolivia y 17 son únicos para Perú, sin embargo de estos últimos, solo tres (CES409.079, CES409.061 y CES409.049) representan sistemas realmente restringidos a Perú pues el resto se distribuyen también en Ecuador. Por otro lado, entre los 16 sistemas yungueños compartidos entre Perú y Bolivia, algunos podrían posiblemente subdividirse en variantes o incluso sistemas ecológicos distintos del norte y del sur con composición vegetal diferente, sin embargo este es un aspecto que necesita confirmarse con estudios fitogeográficos adecuados. En el caso de los sistemas de bosques y matorrales subhúmedos y xéricos, la opinión de expertos ha apoyado la separación en sistemas de Yungas del norte y Yungas del sur debido a la presencia de suficientes especies diferenciales con afinidades florísticas con la región Amotape-Huancabamba y con la provincia del Cerrado-Chiquitania, respectivamente (Cuadro 1). Vale decir que en conjunto, estos sistemas ecológicos subhúmedos y xéricos representan un 12,5 % del área andina del proyecto.

### Sistemas Ecológicos Amazónicos

De los 32 sistemas amazónicos, 17 corresponden a sistemas inundables (Cuadro 1) y/o mal drenados y representan el 27,7% del total de la región amazónica en el área de estudio (Fig. 22), solo el sistema de pantanos de la palmera Mauritia

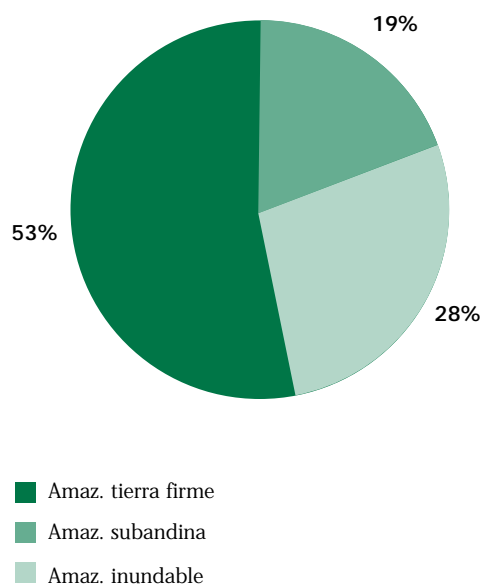


Figura 22. Proporción de tres grandes grupos de sistemas ecológicos en la Amazonía de Perú y Bolivia.

ocupa casi el 25% del área inundable. Entre los sistemas amazónicos tres corresponden al cinturón subandino caracterizado por montañas y colinas estructurales que cubren el 19% del área, en un rango que va aproximadamente de 500-1.000 msnm, donde la flora de afinidad amazónica es predominante, si bien se observa también la presencia de elementos andinos. Por debajo de este rango, 12 sistemas ecológicos de tierra firme ocupan el restante 53 % de la región amazónica en el área de estudio.

En el caso de los sistemas amazónicos, 7 son únicos para Bolivia y 10 ocurren solo en Perú, mientras que 15 sistemas ecológicos son compartidos entre los dos países. Nuevamente aquí, los sistemas únicos para un país dentro del área de estudio del proyecto, en realidad ocurren también sea en Ecuador, Colombia o Brasil. Posibles excepciones en el caso de Perú serían los sistemas CES408.562 y CES408.569, conocidos comúnmente como varillales y renacales, y el CES408.546, un tipo de bosque caducifolio que crece en terrenos muy colinados y se encuentra restringido al norte. Entre los sistemas amazónicos únicos para Bolivia, cuatro corresponden a sistemas del centro-sur de la Amazonía, seguramente con distribución en el lado brasilero y tres son sistemas transicionales entre la Amazonía y el Cerrado-Chiquitania, que muy posiblemente solo se distribuyan en Bolivia.

### Sistemas Ecológicos Benianos

Como se menciona arriba en la región de las sabanas del Beni, se han cartografiado 13 sistemas propios de esta región ecológica, además de ocho complejos conformados por estos mismos sistemas más sistemas riparios amazónicos, que

se combinan de diferentes maneras según las condiciones microtopográficas y edáficas. De estos 13 sistemas ecológicos, tres ocurren en la región del Cerrado o del Pantanal en Brasil y 10 están confinados a Bolivia.

### Áreas antrópicas

Las áreas con actividades antrópicas identificadas con imágenes satelitales de los años 1999 a 2005 representan el 6,8% del total del área de estudio. La región andina del área de estudio es la más afectada, con porcentajes del 11 y 14% de transformación en Perú y Bolivia respectivamente. Mientras tanto, en las tierras bajas amazónicas el porcentaje está entre 4 y 6%.

### 2.2. RESULTADOS DEL MUESTREO DE CAMPO

Utilizando la metodología descrita, los tres equipos tomaron 1.938 puntos de muestra durante el proyecto, distribuidos por región según lo representa la Figura 23a. Además de estas muestras, los equipos utilizaron muestras existentes para validar los mapas, tomadas en el campo por los mismos grupos o por otros investigadores. Al sumar todas las muestras disponibles, el total asciende a 2.962 y las proporciones por región cambian de la siguiente manera (Fig. 23b).

Región	Muestras Proyecto	Muestras Anteriores
Yungas peruanas	269	25
Yungas bolivianas	155	493
Amazonía peruana	1.100	236
Amazonía boliviana	124	235
Beni	290	35
Total	1.938	1.024

Cuadro 14. Números de muestras por región y fuente.

Durante el trabajo de campo los equipos muestrearon 61 de los 81 sistemas ecológicos que han sido cartografiados. Sin embargo, la mayoría de los 20 sistemas no muestreados en esta oportunidad cuentan con muestras tomadas anteriormente. Además, se muestrearon también áreas antrópicas y algunos de los complejos que hacen parte de la leyenda del mapa. Un porcentaje de las muestras se reservó en todos los casos para utilizar muestras independientes en la evaluación del mapa final. Todas las muestras tomadas como parte de este proyecto están disponibles en bases de datos Access. Además, como se menciona en la sección de Métodos, hay dos tipos de muestras: detalladas y rápidas (ver Anexo 2). Únicamente las muestras detalladas cuentan con inventarios cortos de especies dominantes o características. Todas las muestras cuentan con archivos fotográficos.

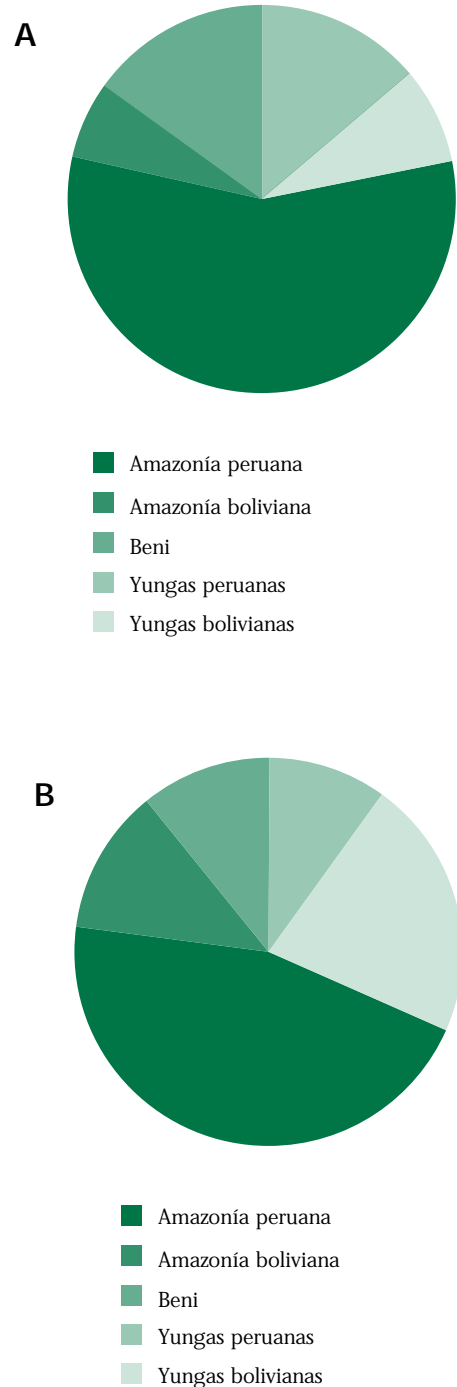


Figura 23. Proporción de muestras de validación por región. (a) Tomadas en campo por los tres equipos ejecutores del mapa de sistemas ecológicos. (b) Total de muestras de campo disponibles: proyecto + existentes.



Los mapas a continuación ilustran la distribución del muestreo en las diferentes regiones de los dos países (Figs. 24, 25 y 26).

### 2.2.1 Resultados de las Colecciones Botánicas

La toma de datos en el campo también involucró colecciones botánicas. En el proyecto consideramos que debido al costo y esfuerzo que implican las salidas de campo, debían aprovecharse también para hacer colecciones botánicas, especialmente de plantas características del sistema muestreado y cuya identificación no era certera en campo. Los resultados hasta ahora obtenidos del procesamiento e identificación taxonómica de estas colecciones, demuestran que fue una buena inversión.

#### Colecciones botánicas del proyecto en Yungas peruanas

De las colecciones botánicas hechas durante los viajes de muestreo de campo en Yungas peruanas, resultaron algunos hallazgos interesantes. Algunos, dentro del género *Cedrela*, árboles de la familia *Meliaceae*, pues se registraron y colectaron varios individuos para la descripción de una especie nueva *Cedrela* "nebulosae" que se encuentra en el

valle de Oxapampa. La nueva especie está en proceso de ser descrita.

Se colectó además en el valle de Utcubamba, individuos de lo que parece ser otra especie nueva de *Cedrela* a la que provisionalmente se la está llamando "kuelapensis", hasta que se formalice su descripción y publicación.

También dentro del género *Cedrela* se registró *Cedrela saltensis*, en el valle de Quillabamba, que representa un registro nuevo para Perú.

#### Colecciones botánicas del proyecto en la Amazonía peruana

En el conjunto de puntos de muestreo fueron colectados 13.935 especímenes para herbario, que sumados a otros registros de género o especies llegan a 21.114 taxones registrados durante el trabajo de campo. De los especímenes colectados fueron determinados aproximadamente el 75%, información que fue utilizada para las descripciones de los sistemas ecológicos. Tanto del paisaje en los sitios de muestreo, como de la vegetación e individuos fueron registradas 18.383 fotografías (Cuadro 15).

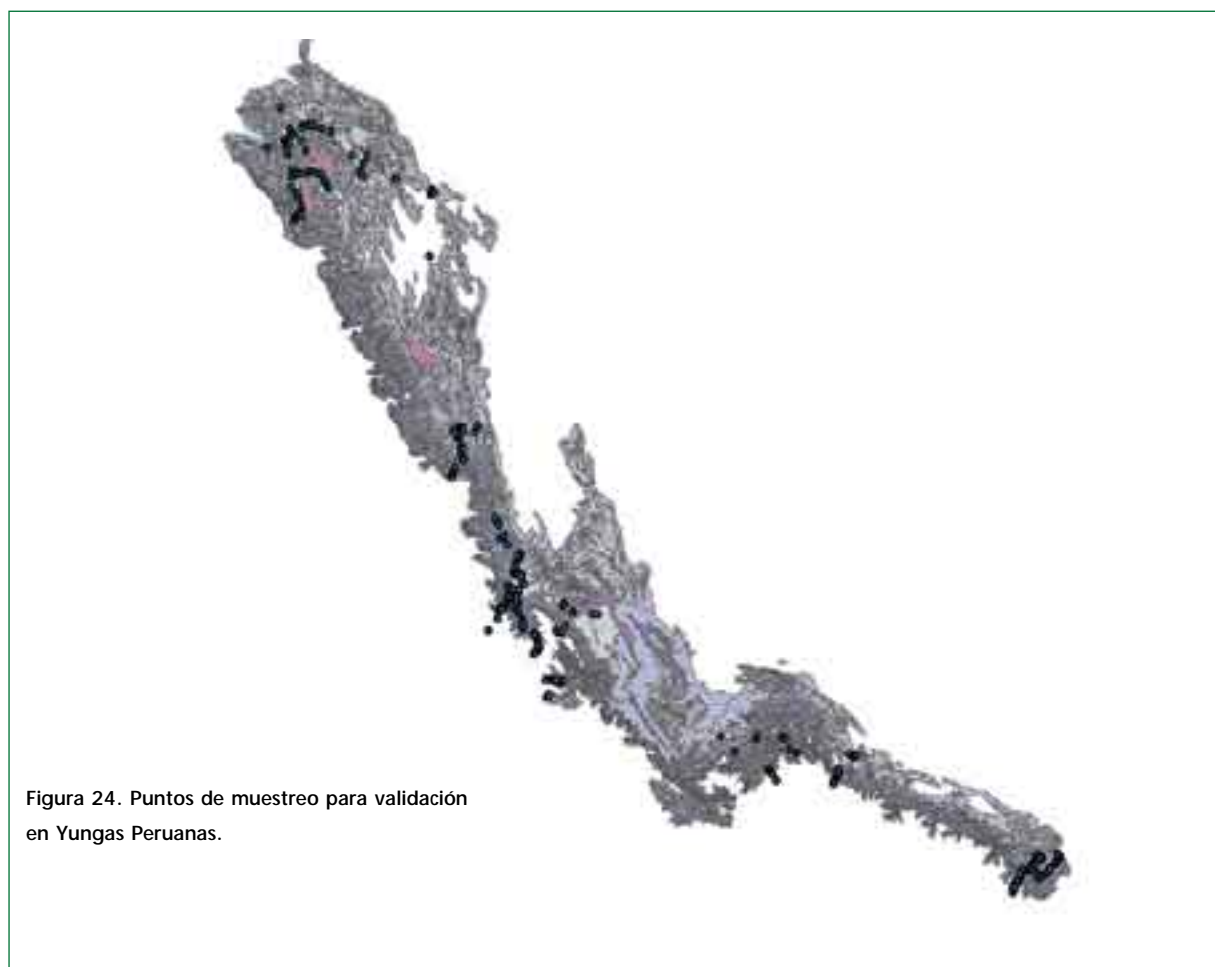


Figura 24. Puntos de muestreo para validación en Yungas Peruanas.

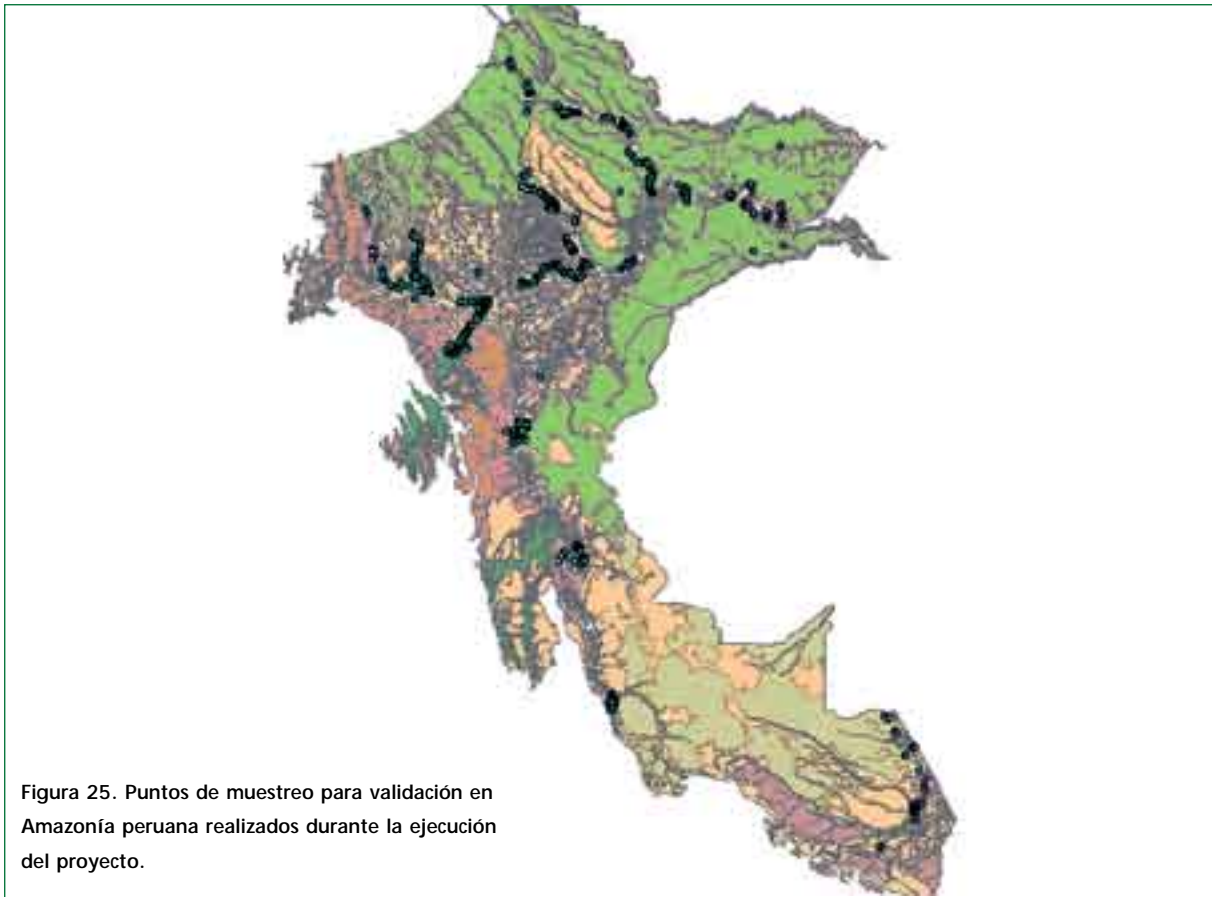


Figura 25. Puntos de muestreo para validación en Amazonía peruana realizados durante la ejecución del proyecto.

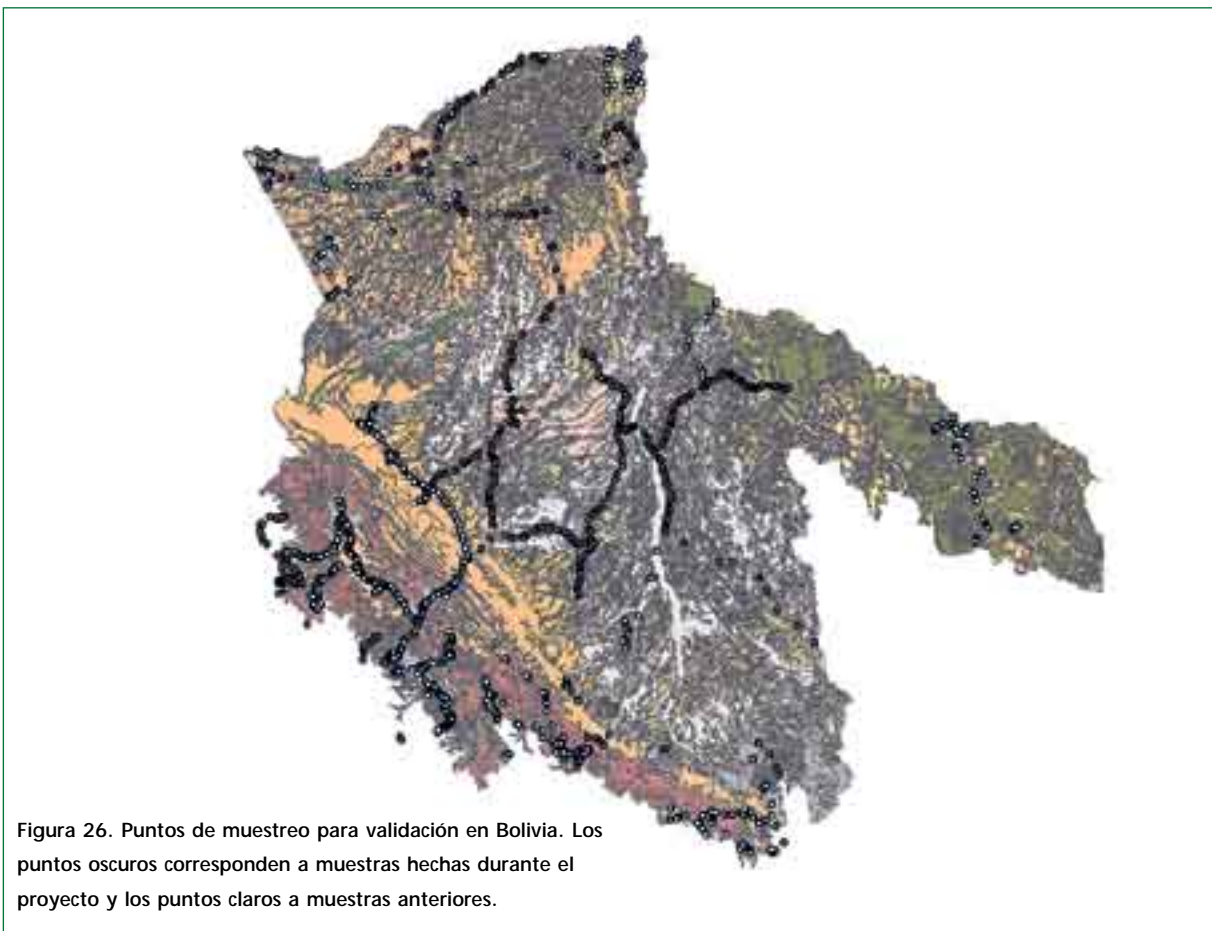


Figura 26. Puntos de muestreo para validación en Bolivia. Los puntos oscuros corresponden a muestras hechas durante el proyecto y los puntos claros a muestras anteriores.

Expedición	Tipo muestreo	Número de parcelas	Total área (ha)	Número colecta herbario	Total taxa registrados	Número registro fotografías
I	Detallados	223	7,005	3.917	6.029	2.443
	Rápidos	251	--	415	1.646	532
II	Detallados	78	7,8	3.429	8.038	8.238
	Rápidos	389	--	526	2.194	3.282
III	Detallados	54	5,4	5.528	2.708	3.513
	Rápidos	105	--	120	499	375
SUB TOTAL	Detallados	355	20,205	12.874	16.775	14.194
	Rápidos	745	0	1.061	4.339	4.189
TOTAL		1.100	20,205	13.935	21.114	18.383

Cuadro 15. Puntos de muestreo, número de colectas de herbario y registros fotográficos en la Amazonía peruana.

### Colecciones botánicas del proyecto en Bolivia

En las campañas de campo de 2005 y 2006 se efectuaron 756 colecciones botánicas, depositadas en los Herbarios Nacional de Bolivia en La Paz y en el Herbario de la Universidad de Cochabamba, bajo los nombres de colección de los botánicos Nelly De La Barra, Margoth Althahuachi y Saúl Altamirano.

Como se observa en la Figura 27 se realizaron colectas en 43 sistemas ecológicos diferentes, 14 en la región del Beni, 11 en la Amazonía y 18 en los Yungas.

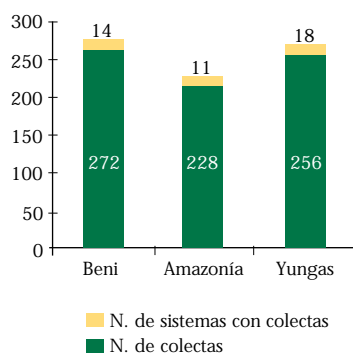


Fig. 27 Relación del número de colectas realizadas y número de sistemas ecológicos con colección botánica.

Entre las colecciones efectuadas en Bolivia, es necesario destacar por diversas razones las siguientes plantas interesantes:

a) Plantas endémicas de los Yungas de Bolivia:

- *Weinmannia cochabambensis*-(CUNONIACEAE), endémico Yungas de Cochabamba
- *Oreopanax thumasiophyllum*-(ARALIACEAE), endémico Yungas de La Paz

- *Schefflera allocotantha*-(ARALIACEAE), endémico Yungas de La Paz
- *Polylepis pacensis*-(ROSACEAE), endémico Yungas de La Paz
- *Cleistocactus viridiflorus*-(CACTACEAE), endémico Yungas de La Paz

b) Nuevas citas para Bolivia, colectadas en los Yungas:

- *Weinmannia elliptica*-(CUNONIACEAE), nuevo límite hacia el sur en las Yungas de La Paz
- *Commicarpus crassifolius*-(NYCTAGINACEAE), planta no vuelta a colectar en Bolivia desde su descripción
- *Trichocereus cuzcoensis*-(CACTACEAE), nuevo límite hacia el sur en los Yungas de La Paz

c) Nuevas citas para Bolivia o nuevas colectas para plantas de Amazonía muy poco o nada colectadas antes:

- *Dialium divaricatum*-(LEGUMINOSAE), río Abuná
- *Lueheopsis althaeiflora*-(TILIACEAE), río Manu
- *Campsiandra chigo-montero*-(LEGUMINOSAE), río Manu y río Abuná. Ocurrencias disjuntas respecto al área conocida de distribución al norte del Amazonas en Colombia y Venezuela
- *Couratari tenuicarpa*-(LECYTHIDACEAE), río Manu, río Negro, Bajo río Abuná
- *Macrolobium suaveolens*-(LEGUMINOSAE), río Manu
- *Swartzia simplex*-(LEGUMINOSAE), río Abuná
- *Psidium densicomum*-(MYRTACEAE), río Abuná
- *Salacia obovata*- ríos Abuná, Manu y Negro
- *Licania niloi*-(CHRYSOBALANACEAE), río Manu
- *Dimorphandra pennigera*-(LEGUMINOSAE), nuevo límite hacia el oeste respecto a su área de distribución en la Amazonía Centro-Sur de Brasil
- *Qualea parviflora*-(VOCHYSIACEAE), nuevo límite hacia el oeste respecto de su área de distribución en la Amazonía Centro-Sur de Brasil

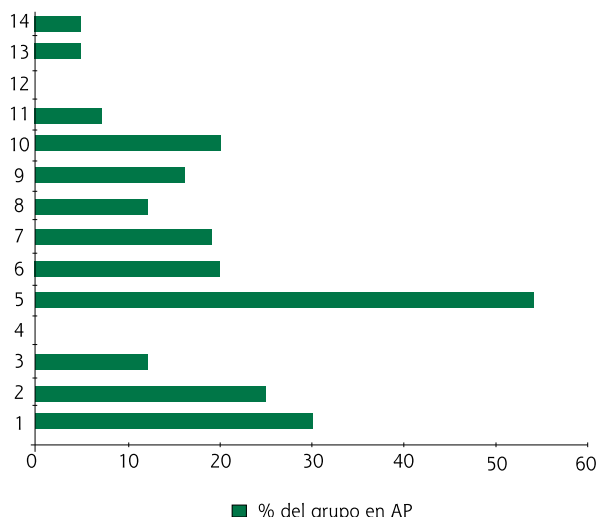


Figura 28. Proporción del área total del grupo que ocurre dentro de áreas protegidas del área de estudio.

d) Colecciones importantes en el Beni:

- *Caraipa llanorum*-(CLUSIACEAE) Colectada abundante en el noroeste del Beni, suponiendo ocurrencias disyuntas respecto al área conocida de distribución al norte del Amazonas en Colombia y Venezuela
- *Swartzia acreana*-(LEGUMINOSAE) Colectada en el noreste del Beni, en el Cerrado. Planta apenas colectada antes para Bolivia

**2.3. GRADO DE PROTECCIÓN DE LOS SISTEMAS ECOLÓGICOS EN EL SISTEMA DE ÁREAS PROTEGIDAS DEL ÁREA DE ESTUDIO**

El total de los sistemas ecológicos y complejos cartografiados se organizó según el Cuadro 1, en 14 grupos ecológicos y el breve resumen que se presenta responde al resultado del análisis de vacíos de conservación en estos grupos (Fig 28). Los grupos son los siguientes:

- 1 Bosques húmedos andinos
- 2 Bosques húmedos amazónicos
- 3 Bosques secos andinos
- 4 Bosques secos chiquitanos
- 5 Vegetación azonal andina
- 6 Vegetación azonal amazónica
- 7 Vegetación herbácea/arbustiva andina
- 8 Bosques inundables por aguas blancas
- 9 Bosques inundables por aguas negras
- 10 Bosques inundables por aguas claras
- 11 Vegetación inundable amplia amazónica
- 12 Vegetación de baja inundación del Beni
- 13 Vegetación de media inundación del Beni
- 14 Vegetación de alta inundación del Beni

Como se puede apreciar en la Figura 28, hay dos grupos sin protección en el área de estudio. El uno corresponde a la vegetación de baja inundación del Beni y el otro a los bosques secos de la Chiquitania de Bolivia. El segundo grupo tiene protección fuera del área de estudio, donde estos bosques están mejor representados, sin embargo el grupo 12, al igual que los grupos 13 y 14, que en conjunto cubren toda la vegetación de las sabanas de Beni, muestran niveles muy bajos de protección. Este es un primer resultado que merece mucha atención, puesto que se trata de sistemas ecológicos complejos de sistemas restringidos únicamente a esta área.

El grupo nº 3 de bosques secos andinos, tiene un 12% del total de su área bajo algún grado de protección, lo que es poco si se considera que el grupo en sí apenas representa un 12,5% de la extensión de los sistemas andinos dentro del área del proyecto. Más aún, de los ocho sistemas ecológicos que conforman este grupo, tres carecen completamente de protección y otros dos incluyen una mínima parte de su distribución dentro de algún área protegida.

Dos grupos más de sistemas muestran también niveles bajos de protección, el grupo nº 8 de bosques inundables por aguas blancas con 12% y el nº 11 de vegetación inundable amplia (aguas blancas, negras o mixtas), con un 7% de protección.

Otros sistemas que no constan en el sistema de áreas protegidas dentro del área de estudio son el Matorral saxícola de serranías del centro-sur de la Amazonía (CES408.554) y el Bosque dominado por palmeras del centro-sur de la Amazonía (CES408.518). Entre los sistemas andinos, dos de los saxícolas dentro del grupo nº 5 tampoco tienen protección, sin embargo no se descarta que en alguna medida este resultado se aproducte de la dificultad de mapeo de este tipo de sistemas, en parte debido a lo restringido de sus extensiones. Finalmente, los bosques de *Polylepis*, tan amenazados por la fragmentación y tan importantes por la diversidad de aves endémicas que cobijan, presentan también niveles mínimos de protección en el área de estudio y en general a lo largo de su distribución.

# Bibliografía

- BIODAMAZ. 2004. Manual para la elaboración de mosaicos de imágenes de satélite Landsat TM para las selvas bajas peruanas. Documento Técnico N° 03. Serie BIODAMAZ-IIAP. Iquitos, Perú.
- BIODAMAZ. 2004b. Diversidad de vegetación de la Amazonía peruana expresada en un mosaico de imágenes de satélite. Documento Técnico N° 12. Serie BIODAMAZ-IIAP. Iquitos, Perú.
- Cabrera, A. L. y Willink, A. 1980. Biogeografía de América Latina. Serie de Biología, Monografía No. 13. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico, Organización de los Estados Americanos. Washington, D.C.
- Congalton, R. G. 1991. A review of assessing the accuracy of the classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment* 37: 35-46.
- Congalton, R. G. y K. Green. 1999. Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices. Pp. 11-70. Boca Raton: Lewis Publishers.
- CIDDEBENI. 1995. Mapa de vegetación 1:250 000 del norte del Parque Nacional Isiboro-Secure, Beni. Mapa e informe de consultoría.
- Dinerstein, E., D. Olson, D. Graham, A. Webster, S. Primm, M. Bookbinder y G. Ledec. 1995. A Conservation Assessment of the Terrestrial Ecoregions of Latin America and the Caribbean. The World Wildlife Fund and The World Bank Washington, D.C.
- Ducke, A. y G. A. Black. 1953. Phytogeographical notes on the Brazilian Amazon. *Anais. Acad. Brasil Ci.* 25(1): 1-46.
- Eva, H. D., E. E. de Miranda, C. M. Di Bella, V. Gond, O. Huber, M. Sgrenzaroli, S. Jones, A. Coutinho, A. Dorado, M. Guimaraes, C. Elvidge, F. Achard, A. S. Belward, E. Bartholome, A. Baraldi, G. De Grandi, P. Vogt, S. Fritz y A. A. Hartley. 2002. A Vegetation Map of South America. (GLC 2000 Landcover) European Commission. Joint Research Center.
- FAN-WCS. 1996. Mapa de vegetación 1:250 000 del Parque Nacional Amboró. Mapa e informe de consultoría.
- Foody, G. M. 2002. Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment* 80: 185-201.
- Gopal, S. y C. Woodcock. 1994. Theory and methods for accuracy assessment of thematic maps using fuzzy sets. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 60: 181-188.
- Holdridge, L. R. 1967. Life Zone Ecology. Trop. Sci. Center. San José, Costa Rica.
- Hueck, K. 1966. Die Wälder Südamerikas. Ökologie, Zusammensetzung und wirtschaftliche Bedeutung. *Vegetations Monographien*. Bd. II. Stuttgart.
- Hueck, K. y P. Seibert. 1988. Mapa de la vegetación de América del Sur. Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, GTZ). Eschborn, Alemania. 16 p. + 1 mapa 1:8 000 000.
- INRENA. 1996. Guía Explicativa del Mapa Forestal 1995. Instituto Nacional de Recursos Naturales, Ministerio de Agricultura. Lima, Perú. 220 p. + 84 fotos.
- Josse, C., G. Navarro, P. Comer, R. Evans, D. Faber-Langendoen, M. Fellows, G. Kittel, S. Menard, M. Pyne, M. Reid, K. Schulz, K. Snow y J. Teague. 2003. *Ecological Systems of Latin America and the Caribbean: A Working Classification of Terrestrial Systems*. NatureServe, Arlington, VA.
- Killeen, T., M. Douglas, T. Consiglio, P. M. Jorgensen y J. Mejía. En prensa. Dry Spots and Wet Spots in the Andean Hotspot. *Journal of Biogeography*.
- Navarro, G. y M. Maldonado. 2002. Geografía Ecológica de Bolivia. Vegetación y Ambientes Acuáticos. Editorial Centro de Ecología Simón I. Patiño. Cochabamba. 719 p.
- Navarro, G., W. Ferreira, C. Antezana, S. Arrazola y R. Vargas. 2003. BioCorredor Amboró-Madidi. Zonificación Ecológica. CISTEL-WWF. Editorial FAN. Santa Cruz de la Sierra. 216 p. + 2 mapas.
- ONERN. 1976. Mapa ecológico del Perú: Guía explicativa. Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales. Lima, Perú. 146 p. + anexos.



- Powell, R. L., N. Matzke, C. de Souza, N. Clark, I. Numata, L.L. Hess y D. A. Roberts. 2004. Sources of error in accuracy assessment of thematic land-cover maps in the Brazilian Amazon. *Remote Sensing of Environment* 90: 221-234.
- Prance, G.T. 1973. Phytogeographic support for the theory of Pleistocene forest refuges in the Amazon basin, based on evidence from distribution patterns in Caryocaraceae, Chrysobalanaceae, Dichapetalaceae, and Lecythidaceae. *Acta Amazonica* 3(3): 5-28.
- Prance, G.T. 1977. The phytogeographic divisions of Amazonia and their influence on the selection of biological reserves. Pág. 195-213 en G.T. Prance & T. Elias, eds. *Extinction is Forever*. New York Botanical Garden, New York.
- Ribera M. O., M. Libermann, S. Beck y M. Moraes. 1994. *Mapa de la Vegetación y Áreas Protegidas de Bolivia*. Proyecto Mapa de Biodiversidad y territorios Indígenas.
- Rivas-Martínez, S. 2000. *Global Bioclimatics (Clasificación Bioclimática de la Tierra)*. Documento en borrador sin publicar. Phytosociological Research Center. Madrid.
- Rivas-Martínez, S. y G. Navarro. 1994. *Ensayo bioclimático y biogeográfico de América del Sur*. Comunicación VI. Congreso Latinoamericano de Botánica. Mar del Plata, Argentina. No publicado.
- Rizzini, C.T. 1963. Nota previa sobre a divisao fitogeografica do Brasil. *Revista Brasil. Geog.* 1(25): 1-64.
- Rizzini, C.T. 1997. *Tratado de Fitogeografía de Brasil*. Aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos. Ambito Cultural Edicoes Ltda. Rio de Janeiro.
- Takhtajan, A. 1986. *Floristic Regions of the World*. University of California Press.
- Tosi, J. A. Zonas de vida natural en el Perú: Memoria explicativa sobre el Mapa Ecológico del Perú. IICA/OEA, Zona Andina, Proyecto 39. *Boletín Técnico* 5: 1-127. (Mapa publicado en 1957).
- Udvardy, M.D.F. 1975. *A Classification of the Biogeographic Provinces of the World*. Occasional Paper No. 8, International Union for the Conservation of Nature (IUCN). Gland, Switzerland.
- UNESCO. 1973. *Clasificación Internacional y cartografía de la Vegetación*. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), París, Francia. 93 pp. I tabla.
- UNESCO. 1981. *Mapa de vegetación de América del Sur*. Nota explicativa. *Investigaciones sobre recursos naturales* 17: 1-189. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), París, Francia.
- Unzueta, O. 1975. *Mapa ecológico de Bolivia*. Memoria explicativa. Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios. La Paz. 309 p.
- Weigend, M. 2002. Observations on the Biogeography of the Amotape-Huancabamba Zone in Northern Peru. *The Botanical Review* 68(1): 38-54.
- Wulder, M. A., S. E. Franklin, J. C. White, J. Linke y S. Magnussen. 2006. An accuracy assessment framework for large-area land cover classification products derived from medium resolution satellite data. *International Journal of Remote Sensing* 27(4): 663-683.
- WWF-HERENCIA. 2002. *Mapa de vegetación a 1:250.000 del Departamento de Pando*. Mapa e informe de consultoría.



Pongo de Maenique, Cusco. Walter H. Wust



# Anexo 1

## Descripciones diagnósticas de los sistemas ecológicos

### Sistemas ecológicos Andino-yungueños

#### BOSQUES HÚMEDOS



CES409.920 Bosque de Polylepis altoandino pluvial de Yungas

Bosques bajos propios del piso altoandino pluvial hiperhúmedo. Dominados por especies micrófilas de Polylepis, que varían según la zona geográfica. Abundancia de epifitas no vasculares. Estos bosques se presentan como manchas discontinuas en una matriz de pajonales húmedos de Puna, situándose entre 3.500 m y 4.200 msnm aproximadamente.



CES409.043 Bosque altimontano pluvial de Yungas

Bosque siempreverde, de 10 a 15 m de alto, típicamente con hojas lustrosas y esclerófilas, oscuras. Presencia de abundantes epifitas. Constituye el nivel altitudinal superior de los bosques yungueños continuos, desarrollándose en áreas pluviales hiperhúmedas entre 2.900 m y 3.500 msnm.





**CES409.045** Bosque de *Polylepis altimontano* pluvial de Yungas

Bosque siempreverde, con dosel de 12 a 15 m de altura dominado por diferentes especies de *Polylepis*, según la zona geográfica, asociadas a varias especies del sistema 409.043. Se desarrolla en áreas pluviales húmedas o hiperhúmedas entre 3.100 y 3.600 msnm.



**CES409.044** Bosque altimontano pluvial estacional de Yungas

Bosque siempreverde estacional, con dosel de 10 a 15 m de altura en promedio, dominado por especies de hojas lustrosas, cartáceas y esclerófilas, oscuras. Se desarrolla por término medio entre 2.900 y 3.600 msnm, en áreas del piso altimontano yungueño húmedo con marcada disminución estacional de lluvias.





**CES409.046** Bosque de *Polylepis* altimontano pluviestacional de Yungas

Sistema con vegetación de bosques bajos, siempreverde estacionales, dominados por especies de *Polylepis* que varían según la zona geográfica y que se asocian con especies del sistema 409.044. Propios de áreas con bioclima pluviestacional húmedo, habiéndose sustituido en gran parte por pajonales secundarios debido a la presión humana. Potencialmente, se desarrollan entre 3.100 y 3.900 msnm, aproximadamente.



**CES409.105** Bosque altimontano siempreverde de los Andes del norte

Bosques siempreverde, con dosel de 10 a 15 m de altura, típicamente con hojas esclerófilas a subesclerófilas y lauroides. En laderas montañosas de los Andes del norte que llegan hasta el norte de Perú en la zona de Tabaconas. Bioclima pluvial húmedo a hiperhúmedo, entre 2.900 y 3.400 msnm.





**CES409.050** Bosque montano pluvial de Yungas

Sistema zonal del piso montano yungueño con bioclima pluvial húmedo a hiperhúmedo, entre 1.900 y 2.900 msnm. Son bosques siempreverdes, pluriestratificados y ricos en epifitas, con dosel de 18 m a 25 m. Caracterizados sobre todo por diversas especies de pinos de monte (*Podocarpus*, *Prumnopitys*) y por el género *Weinmannia*. En el norte peruano se distribuye una variante sobre suelos arenosos, donde palmas del género *Ceroxylon* son dominantes.



**CES409.110** Bosque montano pluvial de los Andes del norte

Bosques con dosel de 15 a 25 m, siempreverdes y pluriestratificados que crecen en laderas entre 1.900 y 2.900 msnm, sobre sustratos diversos de los Andes del norte, pueden tener una presencia abundante de palmas. Bioclima pluvial húmedo a hiperhúmedo, además, según la orientación de la pendiente pueden estar rodeados diariamente de una capa de niebla.





CES409.913 Bosque montano pluvial de la Cordillera del Cóndor

Los sistemas ecológicos CES409.913 y CES409.903 son sistemas boscosos densos de 15 a 20 m de alto, que ocupan laderas escarpadas hasta muy disectadas, sobre una variedad de geologías que incluyen rocas metamórficas, sedimentarias, volcánicas y hasta rocas calcáreas con modelado kárstico. Se encuentran entre 1.400 y 2.500 msnm aproximadamente. Predominan las familias Rubiaceae, Asteraceae, Meleostomataceae y Lauraceae.



CES409.903 Bosque montano bajo pluvial de la Cordillera





**CES409.051** Bosque montano pluviestacional húmedo de Yungas

Bosques de 15 a 25 m de alto que constituyen la vegetación natural del piso montano yungueño en áreas húmedas pero con una marcada disminución estacional de las lluvias que dura unos 2-3 meses al año. Ocurren en laderas montañosas entre 1.900 y 2.900 msnm. El dosel se caracteriza por especies de pinos de monte (*Podocarpus*, *Prumnopitys*) y por especies del género *Weinmannia*, resistentes al déficit estacional de precipitaciones.



**CES409.197** Bosque de Pino de Monte montano Boliviano-Tucumano

Bosque característico de la franja de transición entre las provincias biogeográficas de los Yungas y Boliviano-Tucumana, en el piso montano pluviestacional húmedo del noroeste del departamento de Santa Cruz (Bolivia). Son bosques siempre verde estacionales con presencia frecuente de pinos de monte (*Podocarpus parlatorei*, *Prumnopitys sexigua*). Se establecen entre 1.900 y 2.900 msnm aproximadamente.





**CES409.054** Bosque basimontano pluviestacional húmedo de Yungas

Bosque siempreverde estacional, diverso y pluriestratificado, generalmente caracterizado por la presencia frecuente a abundante de nogales (*Juglans neotropica*, *J. boliviana*), que se distribuye entre 1.200 y 2.100 msnm aproximadamente, en áreas con bioclima pluviestacional húmedo del piso basimontano.



**CES409.048** Bosque y palmar basimontano pluvial de Yungas

Bosque siempreverde, a menudo con abundante o dominante presencia de palmeras andinas (*Dictyocaryum lamarckianum*), distribuidos entre 1.200 y 1.900 msnm aproximadamente, en áreas pluviales hiperhúmedas del piso basimontano superior. Los aspectos del sistema menos expuestos a las neblinas, en laderas montañosas bajas, presentan mucha menor presencia de palmeras y mayor de Lauraceae.



## BOSQUES SECOS



**CES409.921** Bosque montano pluviestacional subhúmedo de Yungas

Sistema ecológico con vegetación de bosques semidecíduos y con dosel de 20 a 25 m, pluriestratificado y con abundantes lianasleñosas. Se distribuye entre 2.100 y 2.900 msnm en laderas montañosas de los valles yungueños con efecto orográfico de sombra de lluvia parcial y por tanto con mayor deficiencia estacional de lluvias durante unos 4-5 meses al año.



**CES409.075** Bosque y arbustal montano xérico interandino de Yungas

Bosques bajos y arbustales caducifolios por sequía estacional, con dosel discontinuo y presencia frecuente de especies espinosas, micrófilas y de cactáceas. Se desarrollan en los valles interandinos de los Yungas sometidos a un marcado efecto orográfico de sombra de lluvia. Ocupan áreas con bioclima xérico seco a semiárido, entre 2.100 y 3.100 msnm, aproximadamente.





**CES409.057** Matorral xérico interandino de Yungas

Sistema de matorrales xeromórficos muy abiertos, a menudo micrófilos y resinosos, con abundantes agaves y cactus, en mosaico, con parches de herbazales perennes y anuales. Esta vegetación se instala sobre suelos degradados y erosionados en áreas con bioclima xérico seco a semiárido, sustituyendo a los bosques xéricos interandinos yungueños.



**CES409.117** Bosque basimontano pluviestacional subhúmedo de Yungas del norte

Bosque semidecíduo con dosel de 6 a 15 m de alto, distribuido en valles del centro y norte del Perú que presentan una marcada disminución estacional de las precipitaciones. Se encuentra por debajo de los 1.900 msnm. En la flora, es característica la presencia de especies compartidas con los bosques semidecíduos de la región tumbesina, entre Perú y Ecuador.





**CES409.207** Bosque basimontano pluviestacional subhúmedo Boliviano-Tucumano  
Bosques semidecíduos, con dosel denso de unos 20 m de alto, desarrollados entre 1.000 y 1.900 msnm sobre laderas montañosas en áreas con bioclima pluviestacional subhúmedo. En el área del Proyecto, se hallan limitados al extremo sur de los Yungas de Santa Cruz, en Bolivia, donde se produce el contacto entre las provincias biogeográficas de las Yungas y Boliviano-Tucumana.



**CES409.079** Bosque y arbustal basimontano xérico de Yungas del norte  
Sistema ecológico de bosques bajos caducifolios micrófilos y espinosos. Son frecuentes las cactáceas y especies suculentas opaquicaules. Ocupa el fondo de los valles interandinos de los Yungas del norte del Perú (Marañón, Bagua), por debajo de unos 1.200-1.400 msnm. La flora es rica en endemismos, especialmente entre las cactáceas y tiene relaciones con la flora xerofítica del norte de Perú y el sur de Ecuador.





**CES409.056** Bosque basimontano xérico de Yungas del sur  
 Sistema ecológico con vegetación de bosques bajos caducifolios, micrófilos y espinosos. Son frecuentes las cactáceas y especies suculentas o paucicaules. Ocupa la zona más baja de los valles interandinos de los Yungas de Bolivia, por debajo de unos 1.000-1.200 msnm. En Perú se encuentra en los valles del Mantaro y el Apurímac. La flora es rica en endemismos y tiene relaciones con la Chiquitania y los valles secos interandinos Boliviano-Tucumanos.

## VEGETACIÓN AZONAL (RIPARIA Y EDÁFICA)



**CES409.063** Vegetación acuática y palustre altoandina y altimontana de Yungas  
 Conjunto de tipos de vegetación hidrofítica, propio de los afloramientos y cuerpos de agua de los pisos altimontano y altoandino yungueños. Constituido por diversas asociaciones que incluyen pantanos dominados por biotipos de helófitos y cuerpos de agua con comunidades de hidrófitos flotantes y enraizados.



**CES409.047** Vegetación ribereña montana y altimontana de Yungas  
Sistema constituido por bosques de Aliso (*Alnus acuminata*) y por pajonales riparios (*Cortaderia* spp.) que se desarrollan entre los 1.900 y los 3.500 msnm, siguiendo los cauces fluviales de los pisos montano y altimontano yungueños. Ocupan los márgenes de los cauces y las estrechas llanuras aluviales adyacentes.



**CES409.049** Bosque bajo de cresta pluviestacional de Yungas  
Bosques con dosel siempreverde estacional a semidecídulo, de 6 a 12 m de altura, desarrollados en filos o divisorias topográficas abruptas del piso basimontano con bioclima pluviestacional húmedo. Se asientan sobre suelos pedregosos excesivamente drenados en situaciones afectadas por neblinas frecuentes.





**CES409.067** Vegetación saxícola montana de Yungas

Sistema que incluye la vegetación abierta o dispersa que coloniza los sustratos rocosos y pedregosos de las Yungas. Generalmente, las diversas asociaciones existentes presentan en su composición florística un predominio de bromeliáceas, orquídeas, piperáceas, aráceas y cactáceas; así como numerosas especies epífitas no vasculares.

## VEGETACIÓN HERBÁCEA- ARBUSTIVA



**CES409.123** Pajonal altimontano y montano paramuno

Pajonales amacollados de hasta 1 m de alto, con pocas forbias creciendo entre las gramíneas y sin estrato arbustivo. Se desarrollan sobre los 3.000 msnm, generalmente con clima pluvial o pluvial estacional húmedo. A menudo son el resultado de las quemadas frecuentes de los paramos arbustivos y de los bosques andinos. En Perú se distribuyen únicamente en el norte.





**CES409.124** Pajonal arbustivo altimontano paramuno

Pajonales amacollados altos y densos, con grupos dispersos de arbustos, en ocasiones de extensión considerable. Se distribuyen sobre los 3.000 msnm, en laderas suaves y llanadas montañosas con suelos profundos moderadamente drenados y con bioclima pluvial húmedo a hiperhúmedo. En Perú se encuentran representados en el extremo norte, en la zona de Tabaconas-Namballe.



**CES409.058** Pajonal arbustivo altoandino y altimontano pluvial de Yungas

Pajonal dominado por gramíneas de biotipo amacollado, rizomatosas y cespitosas, parte de su extensión es el resultado de la expansión de este sistema después de la destrucción de los bosques pluviales altimontanos y de los bosques altoandinos de *Polylepis*. Dada la antigüedad de la intervención humana en los Andes, llegan a constituir tipos de vegetación natural permanente (disclímax).



**CES409.059** Pajonal arbustivo altoandino y altimontano pluviestacional de Yungas

Pajonal dominado por grandes gramíneas de biotipo amacollado, rizomatosas y cespitosas, parte de su extensión es el resultado de la expansión de este sistema después de la destrucción de los bosques pluviestacionales altimontanos y de los bosques altoandinos de *Polylepis*. Dada la antigüedad de la intervención humana en los Andes, llega a constituir tipos de vegetación natural permanente (disclímax).



**CES409.062** Sabana arbolada montana y basimontana de Yungas

Sistema formado por sabanas arboladas abiertas, distribuidas por debajo de los 2.100 msnm en las Yungas del norte de Bolivia y sur del Perú. Son propias de áreas pluviestacionales subhúmedas o húmedas y representan tipos de vegetación secundaria originados por acción del fuego y el uso ganadero a partir de los bosques originales. En la flora, es notoria la presencia de especies del Cerrado y la Chiquitania.



## Sistemas ecológicos Andinos-yungueños sin fotografías

### BOSQUE SECOS

**CES409.053** Bosque basimontano pluviestacional subhúmedo de Yungas del sur  
Bosques semidecíduos distribuidos en áreas con bioclima pluviestacional subhúmedo de los valles interandinos y yungueños de Bolivia y sur del Perú, por debajo de los 2.100 msnm. Se caracteriza por una flora donde son frecuentes o abundantes diversas especies compartidas con los bosques cerradenses de la Chiquitania boliviana y brasileña.

### VEGETACIÓN AZONAL (RIPARIA Y EDÁFICA)

**CES409.065** Vegetación ribereña basimontana de Yungas  
Sistema ripario del piso basimontano yungueño, distribuido por debajo de unos 1.900 msnm, en los márgenes de los cauces fluviales (ríos, arroyos, torrenteras y quebradas). Por lo general, el bosque ribereño sucesional en estas situaciones está dominado por especies de Inga. Por debajo de unos 1.000 msnm, se vuelven comunes los elementos florísticos de la vegetación ribereña sucesional amazónica de aguas blancas.

**CES409.912** Arbustal saxícola montano alto de la Cordillera del Cóndor  
Arbustal siempre verde y denso con el dosel a 3-5 m de alto, con abundantes palmas y sotobosque herbáceo, sobresale un estrato arbóreo de 30% de cobertura. Esta fisonomía típica del altimontano, ocurre aquí más abajo, entre 2.300 y 2.700 msnm debido a la topografía de laderas altas y crestas de montañas con pendientes muy pronunciadas, donde son comunes los deslizamientos por lo que se asocia a afloramientos de roca y en general a paisajes rocosos o pedregosos.

**CES409.914** Bosque pluvial sobre mesetas de la Cordillera del Cóndor  
Este sistema representa los bosques montanos entre los 1.300 y 2.200 msnm que ocurren en las pendientes que forman el contrafuerte de las mesetas de arenisca de la Cordillera del Cóndor, con bioclima pluvial húmedo a hiperhúmedo. Se trata de bosques sobre sustratos ácidos y suelos bien drenados. La estructura es de bosque denso con dosel de 10 a 20 m de alto y muy cargado de musgo y epífitas.

**CES409.039** Arbustal y herbazal sobre mesetas subandinas orientales  
Sistema compuesto por vegetación herbácea esclerófila dominada por clones de bromelias y orquídeas terrestres que alcanzan hasta 1 m de altura, intercalada con arbustales bajos esclerófilos también entre mezclados con hemiepífitas. Se encuentra sobre las mesetas y cimas que tienen en común un sustrato de piedra arenisca o de arenas derivadas, por encima de los 2.000 msnm y con bioclima pluvial húmedo a hiperhúmedo.

**CES409.195** Bosque bajo edafo-xerófilo montano Boliviano-Tucumano  
Tipo de bosque con dosel siempre verde estacional de 6 m a 12 m de alto, característico por la frecuencia de especies con hojas cartáceas, lustrosas o esclerófilas, que se desarrolla específicamente en filos o divisorias orográficas abruptas y nubladitas, sobre suelos hiperdrenados, del piso montano con bioclima pluviestacional húmedo. Restringido en el área del proyecto al departamento de Santa Cruz (Bolivia).

## Sistemas Ecológicos Amazónicos

### BOSQUES DE TIERRA FIRME



**CES408.565** Bosque siempreverde subandino del oeste de la Amazonía

Bosques amazónicos con elementos termófilos yungueños, son densos y altos, multiestratificados y constituyen uno de los sistemas ecológicos más diversos y menos conocidos de Sudamérica. Se distribuyen en las serranías bajas subandinas con bioclima pluvial húmedo a hiperhúmedo, por debajo de 1.300 msnm, aproximadamente. Especies de Rubiaceae y Lauraceae son componentes importantes, así como palmeras de *Oenocarpus*, *Iriarte* y *Wettinia*. Se distribuye desde el sur de Colombia al centro norte del Perú.



**CES408.572** Bosque del piedemonte del oeste de la Amazonía

Comunidades boscosas asentadas sobre las planicies basales con pendientes ligeras características de los glacis aluviales del piedemonte oriental de los Andes, con suelos arcillosos a arenosos con escorrentía de aguas negras en estación seca y aguas mixtas en estación de lluvias. El dosel de 20 a 25 m de alto, va desde continuo a abierto, con emergentes dispersos.





**CES408.543** Bosque siempreverde subandino del suroeste de la Amazonía  
Bosques amazónicos densos, altos y multiestratificados, con elementos termófilos y ungueños, altamente diversos y poco estudiados. Distribuidos en las serranías bajas subandinas con bioclima pluvial húmedo a hiperhúmedo, por debajo de 1.000 a 1.300 msnm.



**CES408.545** Bosque siempreverde estacional subandino del suroeste de la Amazonía  
Bosques amazónicos distribuidos en las serranías bajas subandinas con bioclima pluviestacional húmedo, por debajo de 1.100 a 1.300 msnm, en el centro-norte de Bolivia y en el centro sur del Perú.





**CES408.570** Bosque del piedemonte del suroeste de la Amazonía  
Conjuntodevarios tiposdebosquesdesarrolladosenlosglacialuvialesdelpiedemonteorientaldelosAndes,sobresuelosbien drenadossuperiormente,perocondrenajedeficienteonapasfreáticasenlos horizontesedáficosinferiores.Escaracterísticala combinación de especies de tierra firme junto a especies de las llanuras aluviales inundables por aguas blancas.



**CES408.523** Bosque siempreverde de la penillanura del oeste de la Amazonía  
Sistemade mayorextensión y con más riqueza en especies leñosasarbóreas, asociadas por sectores, con palmeras grandes. Bosquemultiestratificado con el dosel a 35 m de alto, con emergentes dispersos de más de 40 m y con diámetros generalmente de 80 a 120 cm. Se desarrolla sobre tierra firme con relieve de planicies y colinas bajas de orígenes sedimentarios.





**CES408.548** Bosque de serranías aisladas del oeste de la Amazonía

Sistema que se desarrolla sobre montañas aisladas de la cordillera El Divisor, originada en el Terciario, sobre suelos desde arcilloarenosos en las laderas a arenosos en las cimas y con buen drenaje debido a la pendiente. El bosque de las laderas es más diverso y más alto que el de las cimas, que se distingue por sus troncos delgados y de baja estatura. Se encuentra entre 150 y 800 msnm, en el conjunto de montañas al sureste de Contamana, hacia la frontera con Brasil.



**CES408.544** Bosque siempreverde estacional de la penillanura del suroeste de la Amazonía

Bosque multiestratificado y con el dosel a 30-35 m de alto, con emergentes de hasta 40 m. Se desarrolla sobre suelos bien drenados de la penillanura laterítica ondulada del suroeste de la Amazonía, donde representa la matriz extensiva de la cobertura vegetal en áreas con bioclima pluviestacional húmedo del sur de Perú, norte de Bolivia y oeste de Brasil. En la mayoría de estos bosques es característica la presencia frecuente a abundante de *Bertholletia excelsa*.





**CES408.549** Bosque con Bambu del suroeste de la Amazonía

Sistema de bosques puros o mixtos de *Guadua* que se desarrolla sobre la penillanura de relieves planos, disectados y de colinas bajas del Terciario y Cuaternario hasta las faldas aplanadas del piedemonte andino, entre 150 y 1.200 msnm. En la región suroccidental de la Amazonía en Perú, Bolivia y Brasil. Las matas de bambúes alcanzan hasta 20 m, definiendo un dosel continuo.



**CES408.518** Bosque de palmas del centro sur de la Amazonía

Bosques amazónicos con *Bertholletia excelsa* y con abundante y dominante presencia de la palmera *Attalea speciosa*, propios de áreas muy estacionales del escudo precámbrico en el noreste de Bolivia y oeste de Brasil.





**CES406.235** Bosque siempreverde estacional amazónico del Escudo Precámbrico Chiquitano  
Bosque estacional de tierra firme que constituye el límite más meridional en Bolivia de las selvas estacionales de la Amazonía Centro-Sur, en la zona de transición hacia la Chiquitania. La base florística es amazónica, con algunos elementos chiquitanos amplios.

## VEGETACIÓN AZONAL (EDÁFICA)



**CES408.546** Bosque azonal semidecídulo del oeste de la Amazonía  
Es un sistema azonal con distribución puntual y cobertura vegetal determinada por las condiciones del relieve y gradientes de humedad de las pendientes en el complejo sistema de colinas donde crece. La fisonomía de la vegetación está definida por una secuencia de bosques o arbustales bajos y abiertos y bosques altos y densos que corresponden respectivamente a las cimas y quebradas. Este complejo de colinas se halla entre los ríos Nanay y Tigre-Pucacuro.





**CES408.562** Vegetación esclerófila de arenas blancas del oeste de la Amazonía  
 Sistema con distribución dispersa, determinada por las condiciones edáficas de suelos de arenas blancas bajos en nutrientes y la presencia de una capa podzólica impermeable en el subsuelo. La profundidad de esta capa y la topografía del sitio influyen en la fisonomía que varía de formas leñosas de 1-2 m de alto, a arbolillos de 5-8 m, hasta bosques de 15 m de alto conocidos como varillales, debido a los diámetros menores de 20 cm de los árboles.



**CES408.554** Matorral saxícola de colinas y serranías del centro sur de la Amazonía  
 Vegetación de los afloramientos rocosos en mesetas, serranías y domos o inselberg, sobre 300 msnm. Estructuralmente, son matorrales xeromórficos con algunos arbustos y arbolillos muy dispersos. Por el dominio de las especies de *Vellozia* y otros elementos, presenta relaciones florísticas disjuntas con la flora saxícola del Escudo Guayanés.





**CES408.557** Sabana del centro sur de la Amazonía transicional al Cerrado  
Sabanas arboladas y arbustivas con flora del Cerrado, sobre suelos bien drenados, distribuidas en mesetas y serranías del norte del escudo precámbrico brasileño, en zonas con matriz paisajística de bosques amazónicos. Se distribuyen por el extremo este de Bolivia y en Brasil.

## BOSQUES INUNDABLES



**CES408.532** Bosque inundable de la llanura aluvial de ríos de aguas blancas del este de la Amazonía  
Sistema expuesto a inundaciones estacionales y relativamente cortas por aguas blancas, se desarrolla en las planicies aluviales recientes y subrecientes de ríos de agua blanca de la Amazonía occidental. Bosques de hasta 30 m de alto, con asociación de árboles y palmeras de hábitos cespitosos y espinosos.





**CES408.531** Bosque inundable de la llanura aluvial de ríos de aguas blancas del suroeste de la Amazonía  
Bosques estacionalmente inundados por aguas blancas fluyentes, desarrollados en la llanura aluvial reciente a subreciente de los ríos de la Amazonía suroccidental que transportan importantes cargas de sedimentos.



**CES408.578** Bosque inundado por aguas blancas estancadas del suroeste de la Amazonía  
Bosques con dosel irregular, que crecen en las partes más alejadas del cauce de las llanuras aluviales de los ríos de agua blanca. Se inundan someramente por los derrames más distales de las grandes crecientes del río y parcialmente también por aguas de lluvias. Estas aguas se acumulan en todas las depresiones y permanecen estancadas varios meses.



**CES408.550** Complejo de vegetación sucesional riparia de aguas blancas de la Amazonía  
Comunidades herbáceas pioneras, seguidas por parches arbustivo-arbóreo también de especies pioneras, que colonizan los márgenes ecológicamente inestables de los ríos amazónicos de aguas blancas, en zonas con suelos no evolucionados, periódicamente redepósitos y que a la vez son destruidos durante las grandes crecidas fluviales.



**CES408.536** Bosque inundable y vegetación riparia de aguas negras del oeste de la Amazonía  
Sistema de comunidades boscosas y arbustivas que se desarrolla en relieves planos o ligeramente depresionados, sobre suelos principalmente de arenas blancas, inundables por aguas no mineralizadas, pobres en sedimentos y ricas en ácidos húmicos y sustancias tánicas.





**CES408.535** Bosque inundable y vegetación riparia de aguas negras del suroeste de la Amazonía  
Bosques amazónicos y vegetación ribereña, inundados por aguas negras fluyentes, distribuidos en los márgenes y llanura aluvial reciente de los ríos amazónicos de aguas no mineralizadas, pobres en sedimentos y ricas en ácidos húmicos.



**CES408.538** Bosque pantanoso de palmeras de la llanura aluvial del oeste de la Amazonía  
Sistema que cubre grandes extensiones de comunidades casi puras de la palmera *Mauritia flexuosa*, con baja riqueza en especies arbóreas y en sectores asociadas con otras palmeras. El dosel está entre 25 y 30 m de alto. Ocurre en planicies ligeramente depresionadas inundables por aguas de escorrentía de las lluvias y de ríos de agua negra meándricos y anastomosados con drenaje lento.





**CES408.573** Bosque pantanoso de palmeras de la llanura aluvial del sur de la Amazonía  
Palmares y bosques con palmas de *Mauritia flexuosa*, inundados por aguas no o poco mineralizadas y sin sedimentos en suspensión. Se distribuyen en márgenes de cuerpos de agua permanentes, arroyos y depresiones de las llanuras aluviales de inundación que en el sur de Perú y Amazonía boliviana son de relativamente poca extensión.



**CES408.526** Bosque aluvial de aguas negras estancadas del sur de la Amazonía  
Bosques con dosel irregular, de 20 a 25 m de alto, que crecen en las partes más alejadas del cauce de las llanuras aluviales de los ríos de agua negra. Se inundan solamente por los derrames más distales de las grandes crecidas del río, por aguas de lluvia y por el desborde de arroyos de tierra firme. Crece sobre suelos arcillosos con montículos amesetados de 0.5-1 m de alto, i.e. "relieve gilgai".





**CES408.574** Bosque inundable de la llanura aluvial de ríos de aguas negras del centro-sur de la Amazonía  
Vegetación inundable por aguas negras fluyentes distribuida en las cuencas medias y altas de los ríos Madeiray Tapajoz, en el centro de Brasil y extremo oriental de Bolivia.



**CES408.576** Bosque de tierra firme depresionada del sur de la Amazonía  
Bosques de altura media o baja, desarrollados en áreas planas y topográficamente deprimidas de la tierra firme, con drenaje superficial dificultoso. La flora es parcialmente compartida con los sistemas de aguas negras. Se distribuyen en grandes extensiones de la Amazonía boliviana fronteriza con Brasil, pero se prolongan también hacia el suroeste siguiendo el interfluvio entre los ríos Madre de Dios y Beni, alcanzando las Pampas del Heath en Perú.





**CES408.567** Bosque de arroyos de aguas claras del centro-sur de la Amazonía  
Bosque desarrollado en el lecho y los márgenes de los arroyos de aguas claras oligotrofas de la tierra firme amazónica en el noreste de Bolivia y suroeste de Brasil.



**CES408.569** Bosque pantanoso de la llanura aluvial del oeste de la Amazonía  
Sistema conformado por un conjunto de comunidades boscosas semiabiertas, intercaladas entre herbazales pantanosos y bosques pantanosos de palmeras. Es parte del mosaico que ocupa las depresiones laterales de las planicies aluviales de los grandes ríos de la Amazonía occidental, expuestas a los flujos de inundación de las aguas negras y mixtas filtradas en la estación de crecientes.





**CES408.571** Bosque inundable y vegetación riparia de aguas mixtas de la Amazonía  
 Sistema ecológico de los márgenes y llanura aluvial reciente de los ríos amazónicos de aguas mixtas, que se inunda estacionalmente por aguas fluyentes con características intermedias entre las aguas negras y las blancas. La composición florística contiene tanto elementos de bosques inundados por aguas blancas como de bosques inundados por aguas negras.



**CES408.560** Sabanas arboladas y arbustivas de la alta Amazonía sobre suelos anegables  
 Sabanas arboladas y arbustivas sobre relieve de montículos, con suelos arcillosos imperfectamente drenados a mal drenados; incluye áreas con sabanas herbáceas inundables. Este conjunto de sabanas se encuentra rodeado de bosques amazónicos pluviales estacionales. Se distribuye en un pequeño enclave en el Heath, en Perú, y ampliamente en la Amazonía boliviana.



**CES408.552** Herbazal pantanoso de la llanura aluvial de la alta Amazonía  
Complejo de vegetación de pantano con matriz de herbazal graminoide y de grandes forbias hidrofíticas, asociadas en ocasiones algunos arbustos palustres y palmeras dispersas. Distribuido principalmente en las llanuras aluviales recientes y en situaciones depresionales de las sabanas amazónicas.

## Sistemas ecológicos amazónicos sin fotografía

### BOSQUES DE TIERRA FIRME

**CES408.566** Bosque de serranías aisladas del centro-sur de la Amazonía  
Bosques semidecidual o siempre verde estacional distribuido en las serranías y mesetas aisladas del norte del escudo precámbrico brasileño, en suelos pedregosos y bien drenados, en áreas con bioclima pluviestacional húmedo. Dosel semiabierto, de 25 m de alto en promedio. En el extremo este de Bolivia y zonas adyacentes de Brasil.

### BOSQUES INUNDABLES

**CES409.061** Palmar pantanoso subandino de Yungas  
Sistema que se distribuye a lo largo de ríos meándricos que se encuentran en unas pocas cimas llanas o amesetadas de las serranías subandinas peruanas, bajo los 1.600 msnm y con bioclima pluvial húmedo a hiperhúmedo. Dominado por palmeras de *Mauritia flexuosa* en el dosel a 30 m, seguido de otro estrato de 10 m, con palmeras dispersas de *Euterpe precatoria* y luego un sotobosque de herbáceas monocotiledóneas.

**CES408.528** Bosque de arroyos de aguas claras del suroeste de la Amazonía  
Bosques inundados del cauce y los márgenes de los arroyos permanentes y estacionales de aguas claras oligotrofas que disectan la penillanura ondulada del suroeste de la Amazonía. El dosel alcanza de 20 a 25 m y presenta emergentes dispersos.



## Sistemas Ecológicos del Beni

### BOSQUES SECOS



**CES406.238** Bosque subhúmedo semidecíduo de la Chiquitania y el Beni  
 Bosques semidecíduos de 20-25 m de altura, con varios estratos de sotobosque y abundantes lianas. Se desarrollan en los suelos bien drenados de la Chiquitania y el Beni, en áreas con bioclima pluviestacional subhúmedo. Distribuidos en el este de Bolivia, pero florísticamente representan variantes regionales de bosques similares, existentes en el Brasil central.



**CES406.240** Cerradão de la Chiquitania y el Beni  
 Sistema de los bosques bajos, semiabierto y esclerófilo del Cerrado, desarrollados en suelos rojos lateríticos, bien drenados y pobres del norte del Beni y del escudo precámbrico de la Chiquitania. Se trata de bosques que tienen su óptimo de distribución en la Chiquitania boliviana y en la zona fronteriza con Brasil.



## VEGETACIÓN DE BAJA INUNDACIÓN



**CES406.241** Cerradão mal drenado de las semialturas no alcalinas del Cerrado y Beni  
Bosques bajos y sabanas arboladas, distribuidas en las semialturas del centro-norte del Beni, con suelos no alcalinos y estacionalmente mal drenados o anegados someramente. La flora está constituida mayormente por elementos amplios del Cerrado.



**CES406.245** Palmar y sabana inundables de las semialturas alcalinas del Beni  
Palmares obosques semidecíduos abiertos con abundantes palmeras (*Copernicia alba*), desarrollados en las semialturas con suelos alcalinos mal drenados o anegados del Beni oriental. La flora comparte diversas especies con el Chaco Oriental.





**CES406.246** Sabana higrofitica con montículos del Cerrado

Sabana arbolado-arbustiva sobre planicies anegables y con abundantes montículos bajos. Las leñosas se disponen preferentemente en los montículos no anegables y las herbáceas en las depresiones intercaladas, que se inundan someramente. Sistema con enormes extensiones en el Pantanal brasileiro y en el Cerrado. En Bolivia está en el noroeste del Beni y contiene elementos disyuntos con las sabanas del norte del Amazonas, como Caraipa llanorum.



**CES406.248** Sabana abierta higrofitica de las semialturas del Beni y la Chiquitania

Sabana herbácea de los suelos mal drenados a brevemente anegados de forma somera, distribuida en las semialturas topográficas del Beni. La composición florística varía según la riqueza en bases del suelo y en función del nivel de anegamiento estacional.



## VEGETACIÓN DE MEDIA INUNDACIÓN (BAJÍOS ESTACIONALES)



**CES406.226** Bosque de galería de los bajíos del Beni  
Bosque ribereño bajo, que forma galerías siguiendo los arroyos y pequeños ríos de la red de drenaje secundaria del Beni en una matriz que generalmente es de sabanas inundables.



**CES406.249** Sabana herbácea mesotrófica estacionalmente inundada del Beni  
Sabanas abiertas sin componente leñoso y dominadas por grandes gramíneas de culmos robustos (cañuelares) o por ciperáceas de gran talla (junquillares). Se inundan estacionalmente durante 4-8 meses al año por aguas blancas fluyentes, provenientes del desbordamiento de ríos del Beni.





**CES406.250** Sabana herbácea oligotrófica estacionalmente inundada de la Chiquitania y el Beni  
 Sabana herbácea densa de gramíneas y ciperáceas, desarrollada en zonas depresionales muy planas, sobre suelos arcillosos pobres en nutrientes minerales, que se inundan estacionalmente por aguas oligotróficas. Distribuida en el centro-norte del Beni y en la Chiquitania.

#### VEGETACIÓN DE ALTA INUNDACIÓN (BAJÍOS PERMANENTES)



**CES406.251** Sabana inundable de los bajíos del Beni  
 Sabanas arboladas y arbustivas inundadas estacionalmente por aguas blancas, distribuidas extensivamente en las zonas topográficamente más bajas del centro y sur del Beni.



**CES406.253** Vegetación acuática y palustre neotropical de la Chiquitania y el Beni  
Complejo de comunidades de plantas acuáticas emergentes, sumergidas y flotantes, distribuidas en las lagunas, márgenes de lagos y remansos fluviales del Beni.

## Sistemas ecológicos del Beni sin fotografía

### VEGETACIÓN DE BAJA INUNDACIÓN

**CES406.225** Bosque bajo espinoso inundable de las semialturas alcalinas del Beni occidental  
Bosques bajos de 6 a 8 m y emergentes de hasta 15 m, con frecuencia de especies espinosas que se desarrollan en manchas sobre las semialturas topográficas con suelos mal drenados alcalinos y algo salinos del oeste del Beni. La flora comparte numerosas especies con el Chaco Oriental.

# Anexo 2

## Formularios de campo

<b>Zona de mapeo</b> <input type="checkbox"/> Yungas Bolivia <input type="checkbox"/> Yungas Peru <input type="checkbox"/> Beni <input type="checkbox"/> Amazonía Oeste <input type="checkbox"/> Amazonía Suroeste <input type="checkbox"/> Amazonía Centro Sur		<b>Clasificación Sistema Ecológico</b> <input type="text"/>
<b>Grupo en Campo</b> <input type="checkbox"/> UNALM <input type="checkbox"/> IIAP <input type="checkbox"/> GN		
<b>Departamento</b> <input type="text"/>		<b>Confianza en clasificación</b> <input type="checkbox"/> alta <input type="checkbox"/> media <input type="checkbox"/> baja
<b>ID DEL PUNTO</b>		
<b>localidad</b> <input type="text"/>	<b>número</b> <input type="text"/>	
<b>fecha</b> <input type="text"/>	<b>ID GPS</b> <input type="text"/>	
<b>responsable</b> <input type="text"/>		<b>Macrogeoforma</b> <input type="checkbox"/> planicie <input type="checkbox"/> lomada <input type="checkbox"/> colina <input type="checkbox"/> montana <input type="checkbox"/> valle <input type="checkbox"/> meseta <input type="checkbox"/> llanura de inundacion <input type="checkbox"/> terraza <input type="checkbox"/> abanico <input type="checkbox"/> depresion <input type="checkbox"/> ladera <input type="checkbox"/> filo
<b>No. de fotos</b> <input type="text"/>		
<b>Dato Horizontal</b> <input type="text"/>		
<b>UTM Zone</b> <input type="checkbox"/> 17 <input type="checkbox"/> 18 <input type="checkbox"/> 19 <input type="checkbox"/> 20		
<b>UTM East</b> <input type="text"/>	<b>UTM North</b> <input type="text"/>	<b>Nivel intervención del paisaje</b> <input type="checkbox"/> alto <input type="checkbox"/> medio <input type="checkbox"/> bajo <input type="checkbox"/> nulo
<b>Precisión del punto GPS</b> <input type="checkbox"/> DOP <input type="checkbox"/> EPE <input type="checkbox"/> buena <input type="checkbox"/> media <input type="checkbox"/> regular		
<b>Altitud (m)</b> <input type="text"/>		
		<b>Nivel intervención en la muestra</b> <input type="checkbox"/> alto <input type="checkbox"/> medio <input type="checkbox"/> bajo <input type="checkbox"/> nulo

Versión de formulario para muestras rápidas.



**Zona de mapeo**  Yungas Bolivia  Yungas Peru  Beni  
 Amazonía Oeste  Amazonía Suroeste  Amazonía Centro Sur

**Grupo en Campo**  UNALM  IIAP  GN

**Departamento**

**ID DEL PUNTO**

localidad	<input type="text"/>
fecha	<input type="text"/> número <input type="text"/>
responsable	<input type="text"/> ID GPS <input type="text"/>

**No. de fotos**

**Dato Horizontal**

**Latitud**  **Longitud**

**UTM Zone**  17  18  19  20

**UTM East**  **UTM North**

**Precisión del punto GPS**  DOP   EPE   
 buena  media  regular

**Altitud (m)**

**Tamaño de muestra**  <1 ha  <1 ha

**Clasificación Sistema Ecológico**

**Confianza en clasificación**  alta  media  baja

Especies características	Estrato	Cobertura

**Confianza en identificación**  alta (>60%)  media (30-60%)  baja (<30%)

**Clase fisonómica**  
 bosque  sabana arbolada  arbustal  
 arbustal enano  herbacea  palmar  
 bambusal  no vascular  dispersa

**Altura del dosel (m)**

**Cobertura**  
 cerrada (>75%)  semi-cerrada (50-75%)  
 semi-abierta (25-50%)  abierta (<25%)

**Fenología**  
 siempreverde  siempreverde estacional  
 semidecíduo  decíduo

**Clase hidrológica**  
 tierra firme bien drenada  ripario  
 tierra firme regularmente drenada  humedal temporal  
 tierra firme mal drenada  humedal permanente

**Textura suelo**  
 fina  media  gruesa  pedregoso

**Profundidad suelo**  
 profundo (>50 cm)  media (20-50 cm)  
 superficial (<20 cm)

**Pendiente**  <5%  5-15%  15-30%  
 30-50%  50 - 75%  75 -100%  >100%

**Orientación**

**Macrogeoforma**  
 planicie  lomada  colina  montana  
 valle  meseta  llanura de inundacion  
 terraza  abanico  depresion  ladera  filo

**Nivel intervención del paisaje**  
 alto  medio  bajo  nulo

**Nivel intervención en la muestra**  
 alto  medio  bajo  nulo

**Notas**

% Cobertura:	5. 80 -100%	2. 20 - 40%	r. 5 - 10%
	4. 60 - 80%	1. 10 - 20%	+ . < 5%
	3. 40 - 60%		

Versión de formulario para muestras detalladas.



