



PERÚ

Ministerio
de la Producción

Instituto
del Mar del Perú
IMARPE



EMBAJADA
DE ESPAÑA
EN EL PERÚ



AGENCIA ESPAÑOLA
DE COOPERACIÓN
INTERNACIONAL
OFICINA TÉCNICA
DE COOPERACIÓN

Convenio de Cooperación Interinstitucional entre el Fondo de Cooperación Hispano
Peruano y el Instituto del Mar del Perú

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ Laboratorio Continental de Puno



INFORME FINAL 2010-2011 Por Componentes



Av. Circunvalación Sur Nº 1911
Barrio San Martín – Puno
Telefax: 051-366241



PERÚ

Ministerio
de la Producción

Instituto
del Mar del Perú
IMARPE



PROGRAMA DE APOYO A LA PESCA ARTESANAL, LA ACUICULTURA Y EL MANEJO SOSTENIBLE DEL AMBIENTE (2007-2010) - PROPESCA

CONVENIO FONCHIP - IMARPE

INFORME DE ACTIVIDADES 2010 - 2011

GENERALIDADES

Con el fin de lograr que la actividad pesquera en Puno alcance un nivel competitivo y sostenible, el Ministerio de la Producción, la Embajada de España (AECI) y la Dirección Ejecutiva de la Agencia Peruana de Cooperación Internacional (APCI) suscribieron el proyecto "Programa de Apoyo a la Pesca, la Acuicultura y el Manejo Sostenible del Ambiente – PROPESCA", que contempla un aporte financiero de 2,5 millones de Euros por parte del gobierno de España para el período 2007 – 2010.

PROPESCA ha sido diseñado teniendo en cuenta las políticas nacionales del sub sector pesquero, el Plan de Desarrollo Departamental Concertado de Puno y la Estrategia Nacional de Seguridad Alimentaria 2004-2015. Además, cumple con la normatividad del Sistema Nacional de Inversiones Publica, y por parte de España incorpora las directrices del Plan Director 2005-2008 y el Documento de Estrategia País.

Para la ejecución del Proyecto PROPESCA, se firmó el Acuerdo interinstitucional IMARPE – FONCHIP en el 2008, seguido de un segundo Acuerdo de colaboración, firmado el 27 de noviembre del 2009 al 31 de diciembre de 2010, ampliándose hasta 31 de agosto del 2011. Las actividades se desarrollaron en base al Plan de Actividades 2009. A partir del cual se dio inicio a las actividades de cada una de las componentes, en base a una programación y los recursos de cooperación. Los aportes para el desarrollo de actividades fueron de 65% por parte de FONCHIP y 35% por IMARPE.

Los componentes a desarrollarse entre el 2010 y 2011, según el convenio, fueron las siguientes:

A. MEJORA DEL RENDIMIENTO DE LA PESCA ARTESANAL

- 1.- Monitoreo biológico del Lago Titicaca.
- 2a.- Evaluación de la biomasa de recursos pesqueros en el Lago Titicaca.
- 2b.- Caracterización ecológica de la zona litoral del Lago Titicaca en áreas seleccionadas

B. MEJORA DE LA COMPETITIVIDAD DE LA MEDIANA Y PEQUEÑA ACUICULTURA

- 3.- Monitoreo limnológico de los principales parámetros físicos y químicos en zonas seleccionadas del Lago Titicaca y otros espejos de agua con fines de acuicultura.
- 4.- Investigación del potencial acuícola en el Lago Titicaca y principales afluentes.
- 5.- Estudio de la contaminación acuática en el Lago Titicaca y principales afluentes.

En el presente informe se alcanzan los resultados logrados en el 2010 y 2011, para cada una de las actividades programadas dentro de las líneas de investigación.

INDICE

	Pag.
COMPONENTE 1: Monitoreo Biológico del Lago Titicaca	4
COMPONENTE 2: Estimación de la Abundancia y Biomasa de los Principales Recursos Pesqueros en el Lago Titicaca	17
COMPONENTE 2: Caracterización ecológica de la Zona Litoral del Lago Titicaca en Areas Seleccionadas	41
COMPONENTE 3: Monitoreo Limnológico de los Principales Parametros Fisicoquímicos en Zonas Seleccionadas del Lago Titicaca y otros Espejos de Agua con Fines de Acuicultura.	76
COMPONENTE 4: Investigación del Potencial Acuícola en el Lago Titicaca y Principales Afluentes	90
COMPONENTE 5: Estudio sobre la Contaminación Acuática en el Lago Titicaca y Principales Afluentes	101

MEJORA DEL RENDIMIENTO DE LA PESCA ARTESANAL

Componente 1

MONITOREO BIOLÓGICO DEL LAGO TITICACA

Puno, Diciembre del 2011

RESUMEN

Se presentan los resultados del Programa de Monitoreo Biológico del Lago Titicaca del 2010. El total de desembarques proyectado fue de 1 425,3 t; fue un 21,6% y 5,4% mayor que al 2009 y 2008. De las once especies registradas, destacaron: pejerrey, *Odontheistes bonariensis*, 35,9%; Ispi, *Orestias ispi*, 34,6%; carachi amarillo, *Orestias luteus*, 14,3%; trucha, *Oncorhynchus mykiss*, 4,3%; carachi gris, *Orestias agassii*, 4,3%; carachi gringo, *Orestias mulleri*, 3%; mauri, *Trichomycterus dispar*, 3%; y otros 0,6%. La red cortina fue el arte de pesca más importante (94,4%) seguido del chinchorro. Se determina disminuciones en las capturas del carachi gris (39,8%), carachi amarillo (32,4%) respecto al 2009. La CPUE promedio anual fue 11,2 kg/viaje, un valor 38,6% mayor al 2009, siendo la Zona Sur con la CPUE más alta 17,9 kg/viaje. Con incidencia de juveniles desde 64,7% (pejerrey), carachi gris (60,8%), ispi (47,1%), carachi amarillo (44,8) y mauri con solo 17,1%. Los indicadores biológicos fueron similares a lo determinado entre los años 2007 y 2009. El carachi amarillo con preferencia por gasterópodos, el carachi gris y mauri por amphipodos, el pejerrey juvenil por amphipodos y cladóceros. Los precios de comercialización en orilla se asemejan a los determinados en el 2009. Es importante resaltar la vigencia de las Resoluciones Ministeriales R.M. 209-2010-PRODUCE (veda del pejerrey), R.M. 271-2010-PRODUCE (tallas mínimas de captura y tamaños de ojo de malla de red cortina) y R.M. 022-2011-PRODUCE (veda del ispi) productos de los trabajos de investigación del IMARPE Puno.

INTRODUCCIÓN

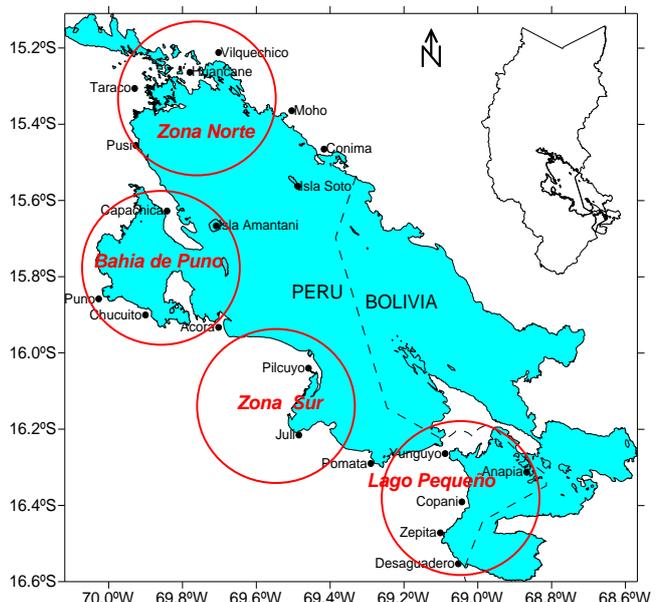
La actividad pesquera en la cuenca del Lago Titicaca, es una actividad permanente, que provee de sustento alimenticio y económico al poblador ribereño. El conocimiento de los indicadores de la actividad pesquera en el lago, permite determinar el nivel de explotación por especies en el tiempo, el esfuerzo pesquero empleado y las condiciones de los aspectos biológicos. Estas son determinantes para dar las bases científicas que coadyuven a que la actividad pesquera sea competitiva y sostenible en la Región Puno.

La actividad pesquera se caracterizó por un período de lluvias fuertes a inicios del 2010 lo que provocó el desborde del río Ramis en la zona norte, favoreciendo a la pesca del pejerrey juvenil con chinchorreo. El ispi fue accesible a la pesca desde agosto hasta diciembre en la zona sur del lago. El control y vigilancia por parte de DIREPRO Puno fue muy pobre a pesar de los aportes financieros del Proyecto ProPesca, lo que ya resultó en que algunas poblaciones de *Orestias* y pejerrey hayan disminuido con respecto a los años anteriores. No se descarta que la disminución del nivel del Lago haya reducido las áreas de reproducción y alevinaje en la zona litoral y también habría efectos negativos debido a la contaminación por desagües y minera.

METODOLOGÍA

Área geográfica

Para la toma de información biológica pesquera, se consideró toda la ribera del Lago Titicaca (parte peruana), con cuatro grandes zonas: Zona Norte, Bahía de Puno, Zona Sur y Lago Pequeño. Para el muestreo biométrico se ubicaron puntos de muestreo, seleccionados bajo las siguientes consideraciones: ubicación geográfica, características de la morfobatimetría y distribución de plantas acuáticas sumergidas – que define la existencia de dos zonas ecológicas (litoral y pelágica) con características ambientales propias que determinan estructuras de unidades poblacionales diferenciadas - importancia de las capturas y desembarques, número de pescadores, etc.



Cabe señalar que, los puntos de muestreo se eligieron en base a los resultados de la “Encuesta Estructural de la Actividad Pesquera Artesanal en el Lago Titicaca Agosto – Diciembre 2006”, que identificó la existencia de 1 734 pescadores en 130 comunidades pesqueras. En este sentido, el Plan de Seguimiento de Pesquerías (Monitoreo biológico) se estableció con 30% de pescadores y las comunidades pesqueras más representativas respecto a las capturas.

b) Encuesta de captura y esfuerzo pesquero

Los registros de captura y esfuerzo pesquero se realizaron en base a un formulario estándar. Para la toma de información se contó con el apoyo de observadores de campo (profesionales, técnicos y pescadores). Los observadores (muestreadores) se encargaron de coleccionar información en cuatro comunidades por mes, según la dinámica de los desembarques.

c) Muestreos biológicos

Los muestreos biológicos se realizaron con tamaño de muestra entre 30 y 150 ejemplares, tomados en los puntos de desembarque y/o centros de acopio, siguiendo un muestreo aleatorio simple. En los muestreos biométricos, se midió la longitud total de los especímenes, agrupados por marca de clase de 0,5 cm para las Orestias y Trichomycterus (carachi, ispi, etc); en el caso del pejerrey y trucha se consideró 1 cm. La información fue consignada en un formulario estandarizado con la fecha, tipo de embarcación, capacidad de bodega, zona de pesca, especies, peso total y peso de muestra.

Para los muestreos biológicos se seleccionaron 10 ejemplares por estratos de longitud, con un tamaño de muestra global entre 100 y 150 individuos. El formato de muestreo biológico de peces consideró aspectos como fecha, zona de pesca, longitud total (cm), peso total (g), peso eviscerado (g), sexo, madurez sexual, longitud y peso de gónadas, peso y contenido estomacal, peso del hígado y diámetro del cuerpo.

Los grados de madurez sexual se determinaron mediante un examen macroscópico en fresco, utilizando la escala empírica de 8 estadios. La escala en estadio I y II, inmaduros; estadio III, virginales o reinicio de ciclo de madurez sexual; estadio IV y V, madurantes avanzando; estadio VI grávido; estadio VII, desovante; y estadio VIII, desovado. La talla de primera madurez sexual se definió cuando la ojiva de madurez alcanzó el 50% de la probabilidad de observar un individuo maduro (Cubillos, 2005).

Para efectos de determinación de la talla a la primera madurez sexual, se consolidó la información proveniente de las observaciones macroscópicas de las gónadas, donde los estadios I y II se consideraron como “inmaduros” y los estadios del III al VIII como “maduros”. Las muestras se tomaron en períodos de pico de desove, considerando un amplio rango de tallas que incluyó desde los juveniles o virginales hasta los adultos de mayor talla. Para la determinación del crecimiento se trabajó con los datos de frecuencia de longitud obtenidos durante los muestreos mensuales. Usando el software FiSAT II (Gayanilo et al. 1996, Gayanilo & Pauly 1997) se analizaron los datos ajustados a la fórmula de von Bertalanffy, usando la rutina ELEFAN I (Electronic Length Frequency Analysis), en base a las estimaciones preliminares de L_{∞} obtenidas con el método de Wetherall (1986).

$$L_t = L_{\infty} \left(1 - e^{-k(t-t_0)} \right)$$

Donde:

L_t = Es la talla del pez en la edad t

L_{∞} = Longitud asintótica, que es la longitud media que un pez de un stock dado alcanzaría, si creciera indefinidamente

K = Parámetro de crecimiento o rapidez con la que el pez alcanza la talla asintótica

t_0 = Edad en la que el pez tiene una talla 0

La relación entre el peso y la longitud se determinó de la función potencial $P = a * L_t^b$ ajustada a la regresión lineal logarítmica: $\log(P) = \log(a) + b * \log(L_t)$ por el método de mínimos cuadrados. Donde "a" representa el intercepto con el eje de las coordenadas, "b" representa la pendiente de la recta, "L_t" la longitud total en cm y "P" el peso del pez en gramos (g).

Asimismo, se asume que el tamaño de malla es estándar y que los individuos pequeños en gran cantidad indican la entrada en la pesquería de nuevos reclutas.

RESULTADOS

Desembarques

Durante el año 2010, la flota artesanal registró un desembarque total proyectado de 1 425 277,7 kg; fue un 21,6% y 5,4% mayor que al 2009 y 2008. De las once especies registradas, destacaron: pejerrey (*Odontesthes bonariensis* 35,9%), ispi (*Orestias ispi* 34,6%), carachi amarillo (*Orestias luteus* 14,3%), trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss* 4,3%), carachi gris (*Orestias agassii* 4,3%), carachi gringo (*Orestias mulleri* 3%), mauri (*Trichomycterus dispar* 3%) y otros. Los peces pelágicos representaron el 78,4% del total de captura. La cortina fue el arte de pesca de mayor frecuencia de uso en el Lago Titicaca (94,4%), seguido del chinchorro (4%).

Especies	Desembarque (kg)		Variación (%)
	2009	2010	2010/2009
C. Gringo	28.178,1	42.283,6	50,1
Picachu	10.654,0	7.828,6	-26,5
Ispi	337.141,6	493.789,9	46,5
Pejerrey	293.183,3	511.191,4	74,4
Trucha	40.060,1	61.639,4	53,9
C. Albus	6,5	862,1	13.233,9
C. Amarillo	300.808,9	203.262,6	-32,4
C. Enano	15.166,0	1.311,1	-91,4
C. Gris	101.158,8	60.849,9	-39,8
Mauri	45.861,2	42.197,8	-8,0
Suche	281,5	61,5	-78,2
TOTAL	1.172.500,0	1.425.277,7	21,6

Con respecto al 2009, se determinó disminuciones en las capturas del carachi gris (-39,8%), carachi amarillo (-32,4%) y picachu (-26,5%). Asimismo, se presentó incremento en las descargas del pejerrey (74,4%), trucha (53,9%), carachi gringo (50,1%) e ispi (46,5%).

El pejerrey destaca entre marzo y mayo; mientras que el ispi sobresale entre setiembre y diciembre; el carachi amarillo, carachi gris y mauri con descargas máximas de enero a febrero; y la trucha en marzo.

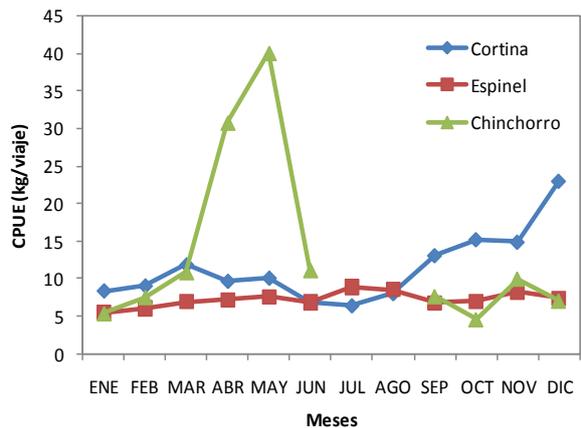
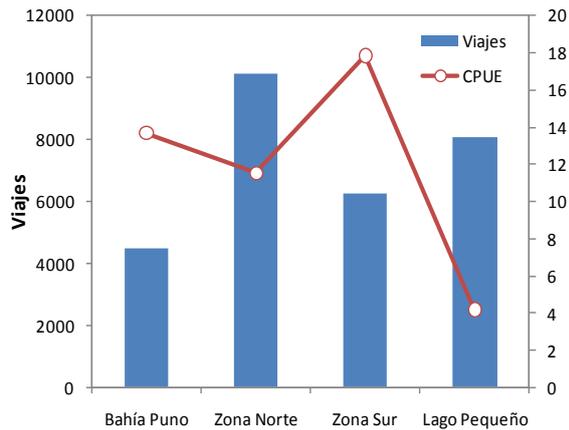
Desembarque por Zonas

En la **Zona Norte** (39% del total capturado) de 9 especies capturadas, se registró la predominancia del pejerrey en la zona de Ramis y Huarisani. En Conima, el ispi y carachi amarillo; la trucha, sobresalió en los alrededores de la Isla Soto. En Pusi y Ccotos, el mauri y carachi amarillo presentaron capturas altas. En la **Bahía de Puno** (17,2% del total) de 10 especies registradas, predominó el ispi (Llachón) y carachi amarillo (Muelle Barco). En la **Zona Sur** (34,3% del total capturado) de 9 especies capturadas, el ispi fue el más importante en Cachipucara y Villa Socca; seguido del carachi amarillo, carachi gringo y la trucha (Juli); mientras que en el **Lago Pequeño** sobresalieron el pejerrey, carachi gris y carachi amarillo. No se reportó boga en las capturas salvo suche en la zona norte en invierno.

Esfuerzo de pesca y captura por unidad de esfuerzo (CPUE)

Por Zonas: Durante el 2010, se tomó información de 564 embarcaciones pesqueras artesanales que realizaron 28 983 viajes. La captura por unidad de esfuerzo anual (CPUE) fue 11,2 kg/viaje, un valor 38,6% mayor al calculado para el 2009. La Zona Sur presentó la CPUE anual más alta con 17,9 kg/viaje, seguido de la Bahía de Puno 13,7 kg/viaje, Zona Norte 11,5 kg/viaje y Lago Pequeño 4,2 kg/viaje.





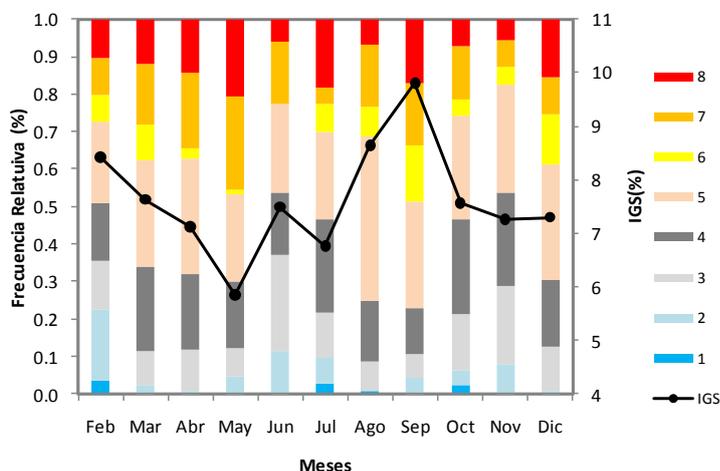
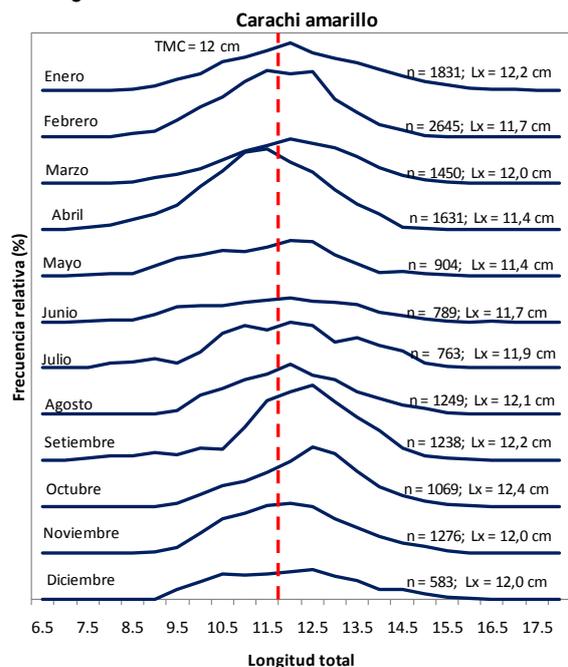
Por artes de pesca: El chinchorro predominó con la CPUE más alta de 15 kg/viaje, seguido de cortina 11,2 kg/viaje y el espinel 7 kg/viaje. Respecto a las fluctuaciones mensuales de la CPUE para las embarcaciones cortineras, se determinó el máximo en diciembre (23 kg/viaje) principalmente por la capturas del ispi y el valor mínimo en julio (6,4 kg/viaje). Mientras, para las embarcaciones que utilizan espinel para la captura del pejerrey se determinó el valor máximo en julio (8,9 kg/viaje) y el mínimo en enero (5,5 kg/viaje). Del mismo modo, las chinchorreras y/o redes tipo bolsa utilizadas para la pesca de alevinos y juveniles del pejerrey registraron valor alto en mayo (40,1 kg/viaje). El espinel y el chinchorro según el ROPA (D.S. 023-2008-PRODUCE) son artes prohibidos para la pescas de los recursos pesqueros del Lago Titicaca.

Aspectos Biológicos de las Principales Especies Desembarcadas

Carachi amarillo (*Orestias luteus*)

Composición por tamaños: Las tallas oscilaron entre 7,5 y 17 cm (n=15 428 ejemplares), con una talla media de 11,4 cm (abril) a 12,4 cm (octubre). Se determinó 44,8% de incidencia de juveniles, con un mínimo en octubre (29,1%) y máximo en abril (60,3%). Del análisis de estructura por tamaños, el reclutamiento se presentó en abril y noviembre.

Edad y crecimiento: Para la determinación de los parámetros de crecimiento (L_{∞} y K), se aplicó el programa FISAT (FAO-ICLARM Stock Assessment Tools), el cual se basa en la distribución de

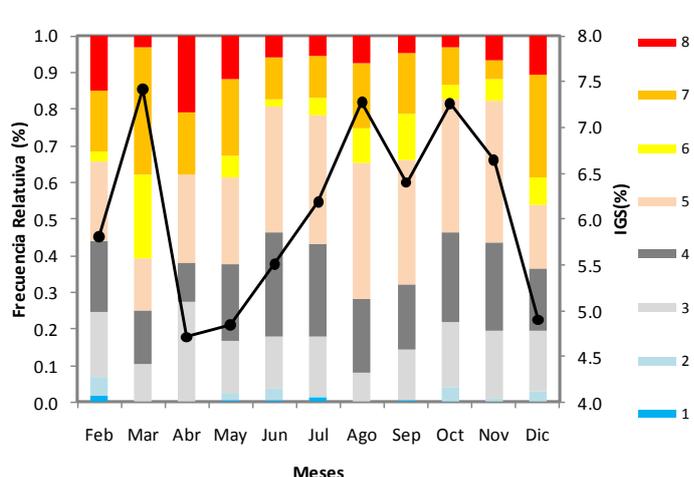


frecuencias por clase de longitud mensual, aplicado en el análisis de progresión modal (APM).

En base a la composición por tamaños de carachi amarillo, los parámetros de crecimiento revelaron una longitud asíntota de 17,9 cm, parámetro de crecimiento de 0,69 año⁻¹ y un valor de t_0 de -0,038. Los parámetros de crecimiento indican, un pez relativamente pequeño, de vida corta y crecimiento moderado.

acuerdo al análisis de estructura de tallas, se determinó ingreso de cohortes en los meses de enero, mayo y octubre.

Edad y crecimiento: Los parámetros de crecimiento fueron: una longitud asintótica de 22,63 cm, parámetro de crecimiento de 0,52 año⁻¹ y un valor de t₀ de -0,041. Los parámetros de crecimiento indican, un pez relativamente pequeño, de vida corta y crecimiento moderado.



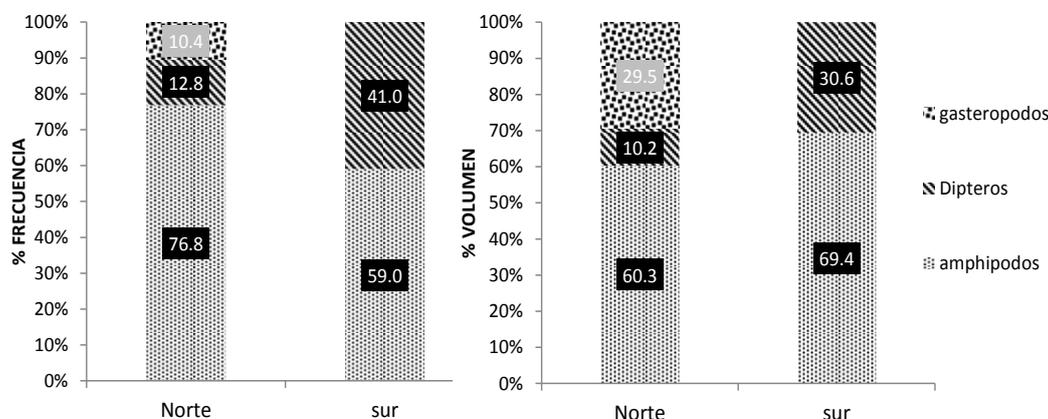
Madurez Sexual y la evolución del IGS: La proporción sexual muy favorable a las hembras ($\sigma^{\sigma}:\phi^{\phi} = 1,0:2,6$; $X^2 = 557$, $P \leq 0,05$). De la evolución mensual del desarrollo sexual en hembras de carachi gris según predominancia porcentual por estadios se determinó dos ciclos de maduración, primero, los peces inmaduros sobresalieron en setiembre y octubre, seguido por los madurantes (desde noviembre hasta febrero), luego los desovantes (de marzo a abril) y los de recuperación (de abril a mayo). El otro período se inició en abril y terminó en noviembre. Estos resultados de la evolución

gonadal concuerdan con la evolución del IGS. El valor máximo de IGS se determinó en marzo (7,4%) y el mínimo en abril (4,7%). Se identificó un pulso de desove en otoño (febrero - abril) y otro muy intenso entre setiembre y noviembre.

Talla de primera madurez gonadal: La talla de la primera madurez gonadal se calculó en 10,4 cm, para un total de 301 ejemplares con tallas entre 8,5 – 18 cm con IC (95%) de 10 – 10,8 cm.

Fecundidad: De un total de 32 gónadas de carachi gris en estadios V y VI de madurez gonadal, se determinó el ejemplar más pequeño de 10,2 cm LT, peso corporal de 16,4 g y un peso de la gónada de 1,5 g, y el individuo más grande de 18,5 cm LT, peso corpóreo de 106,4 g y peso gonadal de 11,4 g. La fecundidad total se calculó de 1 128 a 8 436 óvulos y la fecundidad parcial (ovas maduras a ser expulsadas) entre 132 y 2 324 ovas. Los óvulos inmaduros representan el mayor valor dentro de la gónada (69,4%), seguido de óvulos madurantes (15,5%) y maduros (15,1%). El diámetro de las ovas maduras fue de 1,9 mm.

Relación Longitud – Peso (RLP): Ecuación de RLP para machos $P = 0,03L^{2,791}$ y hembras $P = 0,025L^{2,874}$.



Alimentación: De la evaluación 14 estómagos de carachi gris colectados en junio provenientes de la Zona Norte y Sur del Lago Titicaca, se determinó la preferencia por amphipodos en ambas zonas (número y volumen). Los

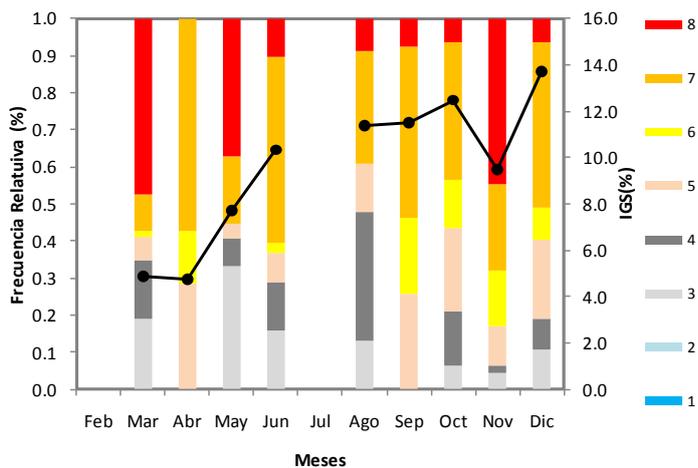
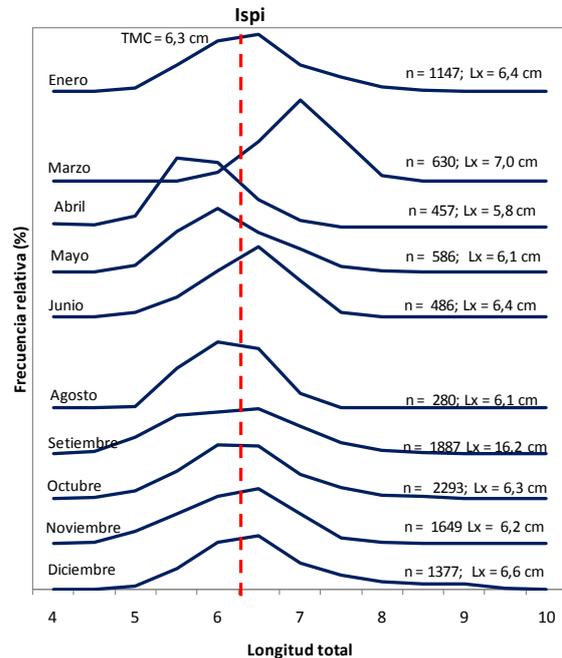
gasterópodos sobresalieron en la Zona Norte (volumen); mientras en la Zona Sur predominaron los dípteros (número y volumen).

Ispi (*Orestias ispi*)

Composición por tamaños: Se midieron 10 792 ejemplares, determinándose un rango de tallas 4 a 9,5 cm, con medias que fluctuaron de 5,8 cm (abril) a 7 cm (marzo). El porcentaje de incidencia de juveniles fue 47,1%, con un mínimo en marzo (5,2%) y máximo en abril (81,6%). El reclutamiento se dio en los meses de abril y agosto.

Edad y crecimiento Se determinó una longitud asíntota (L_{∞}) de 10 cm, una tasa de crecimiento de $0,83 \text{ año}^{-1}$ y t_0 de $-0,041$. Los parámetros de crecimiento indican un pez relativamente pequeño, de vida corta y crecimiento rápido.

Madurez Sexual y la evolución del IGS: La proporción sexual fue similar entre sexo ($\sigma^{\sigma}:\sigma^{\rho} = 1,0:1,1$; $X^2 = 2,18 \text{ N.S.}, P \leq 0,05$).



De la evolución mensual del desarrollo gonadal en hembras del ispi según predominancia porcentual por estadios se determinó dos periodos de maduración, primero, desde los inmaduros (abril, mayo) seguido por los madurantes (de junio a agosto), luego los desovantes (entre setiembre y octubre) y los de recuperación (desde noviembre hasta diciembre). El otro periodo, se inició en octubre y terminó en junio. Estos resultados sobre el periodo reproductivo, no concuerdan con la evolución del IGS, se retrasa el periodo de desove en dos meses.

La evolución mensual del IGS alcanzó un valor máximo en diciembre (13,7%) y el mínimo en abril (4,8%). Se determinó un solo pulso de desove significativo entre setiembre y diciembre.

Talla de primera madurez gonadal: De una muestra de 62 ejemplares con un rango de tallas de 4,7 – 7,8 cm, la talla de la primera madurez gonadal fue de 6,1 cm con IC (95%) de 5,9 – 6,3 cm.

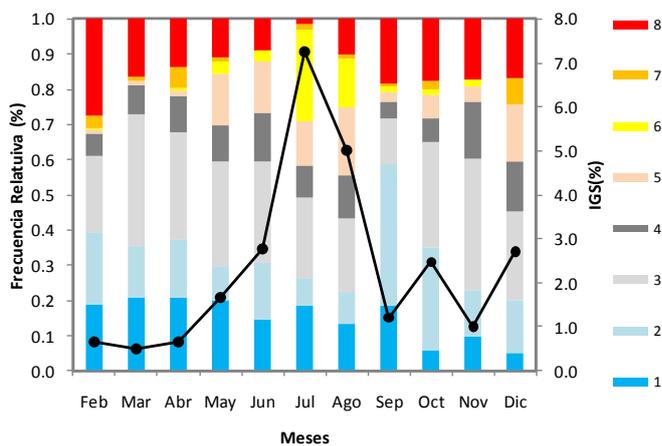
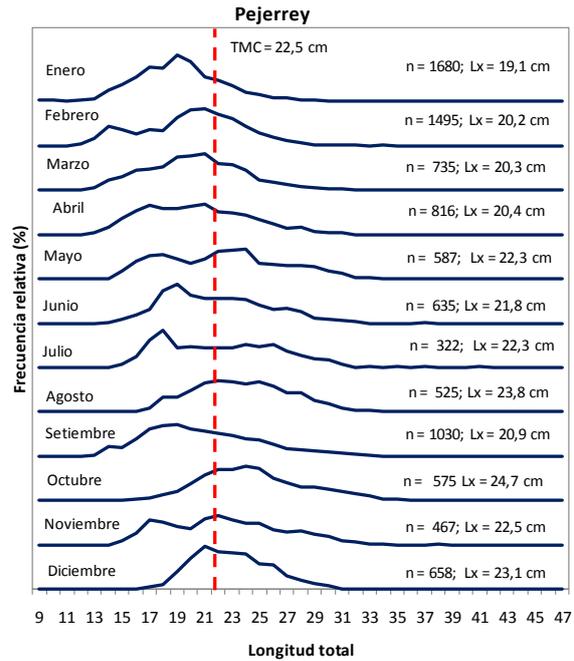
Relación Longitud – Peso (RLP): Ecuación de relación longitud – peso: Machos $P = 0,0252L^{2,4140}$ y Hembras $P = 0,0252L^{2,4231}$. El ispi muestra un crecimiento alométrico negativo.

Fecundidad: Se analizó 12 gónadas en estadios V y VI de madurez gonadal, siendo el ejemplar más pequeño de 6,2 cm LT, peso corporal de 4 g y un peso de la gónada de 0,87g, y el más grande de 9,5 cm LT, peso corpóreo de 10,2 g y peso gonadal de 2,3 g. El número de óvulos maduros fluctuó entre 218 y 801 con un diámetro promedio de 1,4 mm.

Pejerrey (*Odontesthes bonariensis*)

Composición por tamaños: Se registraron tallas entre 9 y 41 cm, para un tamaño de muestra (n) de 9 525 ejemplares, con fluctuaciones de la media entre 19 cm (enero) y 24,7 cm (octubre). El porcentaje de incidencia de juveniles se registró en 64,7%, con un mínimo en octubre (31,1%) y máximo en enero (86,5%). De acuerdo al análisis de estructura de tallas, se determinó ingreso de reclutas de enero a abril y en setiembre.

Edad y crecimiento: Los parámetros de crecimiento – a partir de los muestreos biométricos – se determinó una longitud infinita (L_{∞}) de 43,16 cm, parámetro de crecimiento (K) en $0,27 \text{ año}^{-1}$ y un t_0 de $-0,058$. Los valores estimados indican un pez relativamente grande para este cuerpo de agua y de crecimiento moderado.



Madurez Sexual y la evolución del IGS: La proporción sexual fue ligeramente favorable a las hembras ($\text{♂♂}:\text{♀♀} = 1,0:1,3$; $X^2 = 45$, $P \leq 0,05$). De la evolución mensual del desarrollo gonadal de pejerreyes hembras según predominancia porcentual por estadios se estableció dos períodos de maduración, primero, desde inmaduros (de febrero a marzo) seguido por los madurantes (desde abril hasta junio), luego los desovantes (de julio a agosto) y los de recuperación (de setiembre a octubre). El otro período se inició desde junio hasta febrero. Estos resultados de la evolución gonadal, concuerdan con la

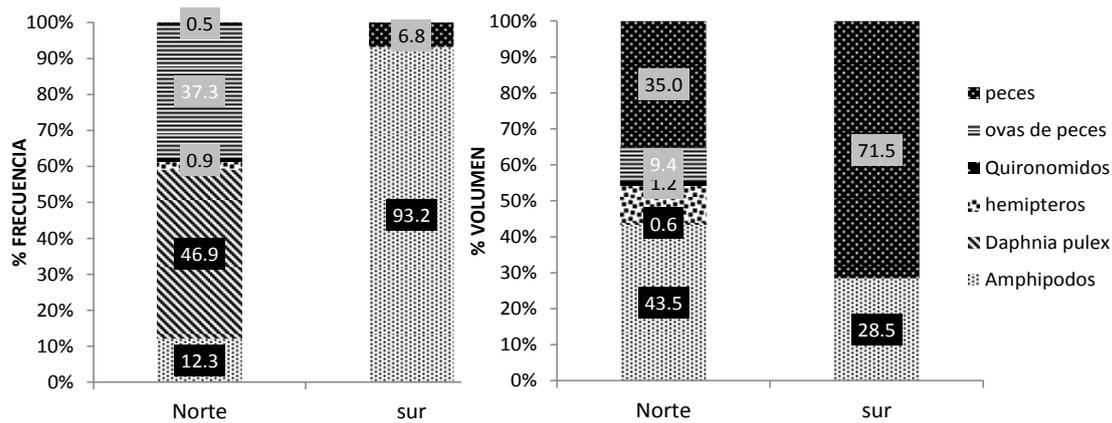
evolución del IGS. El IGS más alto se determinó en julio (7,3%) y el más bajo en marzo (0,5%). Se identificó dos picos de desove, primero el más intenso, desde julio a setiembre; y el segundo, entre diciembre y febrero.

Talla de primera madurez gonadal: Para un total de 150 hembras, entre 16 – 41 cm, la talla de la primera madurez gonadal se estimó en 22,9 cm con IC (95%) de 22,5 – 23,3 cm.

Fecundidad: Se analizó 23 gónadas en estadios V y VI de madurez sexual, siendo el individuo más pequeño de 24,2 cm LT, peso corporal de 70,4 g y un peso de la gónada de 10,8 g, y el ejemplar más grande de 37,8 cm LT, peso corpóreo de 325,1 g y peso gonadal de 24,8 g. La fecundidad total se determinó entre 5 216 y 17 656 óvulos y la fecundidad parcial (ovas maduras a ser expulsadas) entre 508 y 7 984 ovas. Los óvulos inmaduros representan el mayor porcentaje dentro de la gónada (53,3%), seguido de óvulos maduros (42%) y madurantes (4,7%). El diámetro de las ovas maduras fue de 1,8 mm.

Relación Longitud – Peso (RLP): Ecuación de RLP para machos $P = 0,004L^{3,104}$ y hembras $P = 0,004L^{3,130}$.

Alimentación: De la evaluación de varios estómagos ($n = 41$) de pejerrey colectados entre julio, agosto y octubre de las Zonas Norte y Sur del lago se determinó los siguientes ítems alimenticios: en la Zona Norte predominó en número la pulga de agua, seguido de ovas de peces; mientras en volumen predominaron los anfibios, seguido por restos de peces. En la Zona Sur, en número sobresalieron los anfibios y en volumen restos de peces.

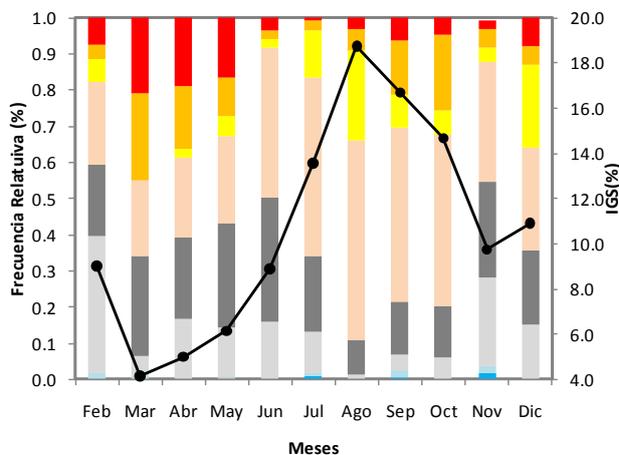
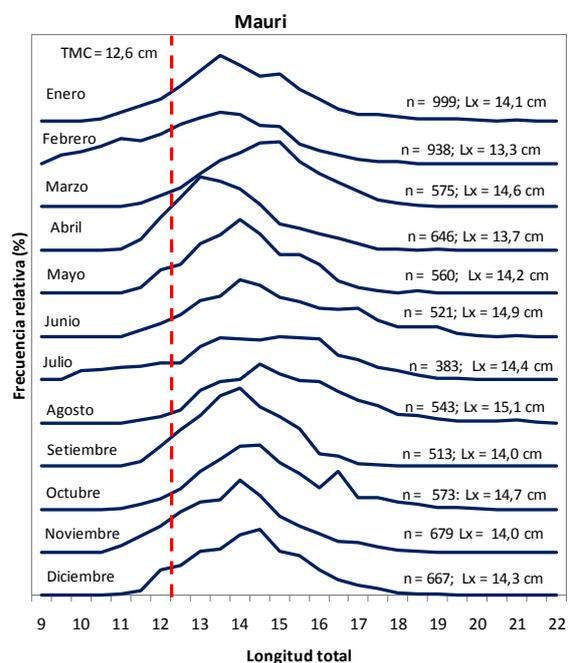


Mauri (*Trichomycterus dispar*)

Composición por tamaños: Se midieron 7 597 ejemplares, determinándose un rango de tallas entre 9,5 y 21,5 cm, con medias que fluctuaron de 13,3 cm (febrero) a 15,1 cm (agosto). La incidencia de juveniles se determinó entre 5,2% (agosto) y 36,4% (febrero). El análisis de estructura por tallas, mostró que el reclutamiento se presentó en febrero y noviembre.

Edad y crecimiento: La longitud asintótica (L_{∞}) fue de 22,63 cm, parámetro de crecimiento de $0,49 \text{ año}^{-1}$ y un t_0 de $-0,052$. Los valores estimados indican que es un pez de vida corta y crecimiento moderado.

Madurez Sexual y la evolución del IGS: La proporción sexual fue ligeramente favorable a las hembras ($\text{♂}:\text{♀} = 1,0:1,2$; $X^2 = 24$, $P \leq 0,05$). De la evolución mensual del desarrollo gonadal en hembras de mauri según predominancia porcentual por estadios se estableció dos períodos de maduración, primero, desde los inmaduros (entre marzo y abril) seguido por



los madurantes (de mayo a junio), luego los desovantes (entre agosto y setiembre) y los de recuperación (de setiembre a noviembre). El otro período, comenzó en julio y finalizó en marzo. Estos resultados sobre el período reproductivo, concuerdan con la evolución del IGS. El valor máximo de IGS se determinó en agosto (18,7%) y el mínimo en marzo (4,2%). Se identificó dos períodos de desove, el más intenso entre agosto y noviembre; y el otro, menos intenso de enero a marzo.

Talla de primera madurez gonadal: La talla a la primera madurez gonadal – a partir de

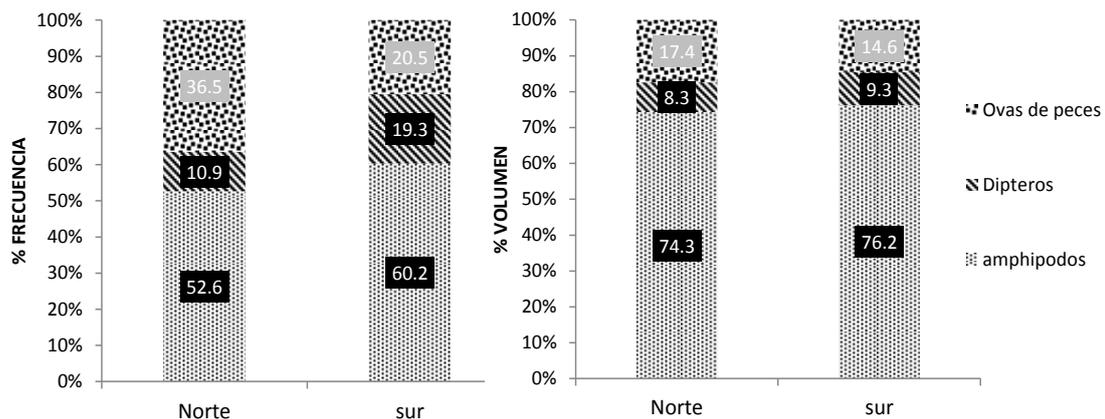
157 ejemplares – fue de 12,8 cm para un rango de tallas de 11,5 – 21,5 cm.

Fecundidad: De un total de 25 gónadas de mauri en estadios V y VI de madurez sexual, se determinó el pez más pequeño de 12,9 cm LT, peso corporal de 23,9 g y un peso de la gónada de 2,6 g, y el pez más grande de 18,8

cm LT, peso corpóreo de 70 g y peso gonadal de 8,8 g. La fecundidad total se determinó entre 1 620 y 4 379 óvulos y la fecundidad parcial (ovas maduras a ser expulsadas) de 812 a 2 411 ovas. Los óvulos inmaduros representan el mayor porcentaje en la gónada (51%), seguido de óvulos madurantes (33%) y ovas maduras (16%). El diámetro de las ovas maduras fue de 1,8 mm.

Relación Longitud – Peso (RLP): Ecuación de relación longitud – peso para Machos: $P = 0,0145L^{2,8380}$ y Hembras: $P = 0,0205L^{2,7265}$.

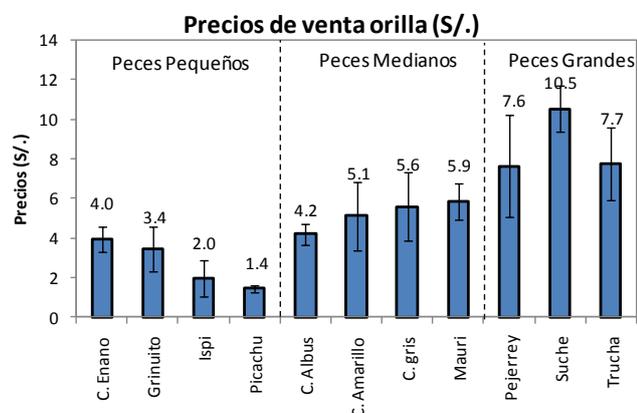
Alimentación: De la evaluación de 18 estómagos de mauri colectados entre agosto, setiembre y octubre de las Zonas Norte y Sur se determinó el siguiente componente alimenticio: en ambas zonas se determinó la preferencia (número y volumen) por los anfipodos, seguido de ovas de pez y dípteros.



Comercialización

El suche fue el de mayor valor comercial (S/. 10,5) en el Lago Titicaca y los más económicos fueron el picachu e ispi. Los peces pequeños oscilaron desde S/. 1,4 (picachu) hasta S/. 4,0 (carachi enano). Mientras que los peces medianos fluctuaron de S/. 5,9 (mauri) hasta S/. 4,2 (carachi albus). En el grupo de los peces grandes los precios fueron de S/. 7,6 (pejerrey) hasta S/. 10,5 (suche).

Cabe señalar que los precios de los productos pesqueros son dependientes de la oferta y demanda, que guardan relación con los volúmenes de extracción. Además, los precios por zonas presentaron variación. El grupo de los carachis (amarillo y gris) fueron más caros en el Lago Pequeño y Zona Sur y los más económicos fueron en Zona Norte y Bahía de Puno. Igualmente el ispi fue más costoso en la Zona Norte, y el pejerrey en Zona Sur y Bahía de Puno.

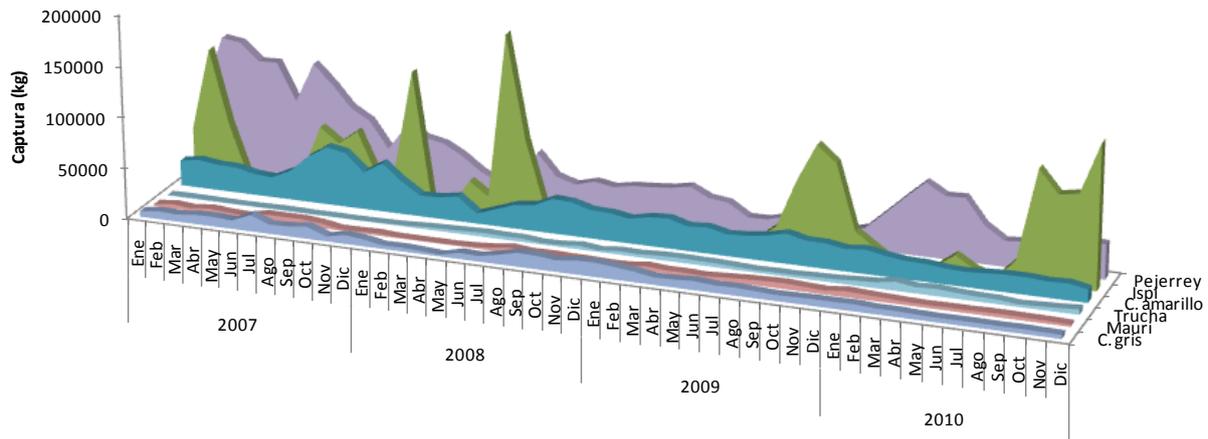


Análisis de las principales pesquerías del Lago Titicaca entre 2007 y 2010.

Los volúmenes de captura mensual del pejerrey entre 2007 y 2010 en general muestran una tendencia a la disminución, con cierta recuperación en el primer trimestre del 2010. De forma similar la biomasa del pejerrey en abril del 2010 solo llegó a 8 491 t (36% menor a lo determinado el 2008). El monitoreo mensual de las tallas medias de captura presenta una tendencia a la baja (desde 24,5 cm en 2007 a 21,2 cm en 2010). Del mismo modo, el porcentaje de juveniles (<22,5 cm TMC) para el 2010 fue de 64,7%, siendo la más alta en los últimos cuatro años, con incrementos de 25,5%; 27,6% y 12% con respecto a los años 2009, 2008 y 2008, respectivamente.

Ante esta situación, en el 2010, el Ministerio de la Producción en base a la Opinión Técnica del IMARPE dio origen la Norma: *Veda reproductiva precautoria del recurso pejerrey* (R.M. 209-2010-PRODUCE) y seguida, de una segunda norma, que establece *tallas mínimas de captura y tamaños de malla de redes tipo cortina para la pesca de recursos hidrobiológicos en la cuenca del Lago Titicaca* (R.M. 271-2010-PRODUCE) para frenar (mitigar) la sobrepesca por reclutamiento que se viene dando en el lago.

Similar tendencia a la baja se observa en la pesquería de carachi amarillo y gris, que viven en asociación en la zona litoral (isobata de 20 m). La biomasa de carachi se reportó en un 190% menor a lo reportado en el 2008. Sin embargo, el porcentaje de incidencia de juveniles (<12 cm TMC) del 2010 disminuyó en 19,1% con respecto al 2009.



Mientras tanto, el ispi continúa siendo el recurso íctico más importante en el lago. En el 2010 presentó un incremento de biomasa de 24,1% con respecto al 2008 (de 49 960 t a 65 827 t). Del total de captura del ispi en la parte peruana para el 2010 de 493,8 t solo se pudo aprovechar el 1% de la biomasa total del ispi (no se consideró la captura anual de la parte boliviana). El incremento de biomasa del ispi se debería a dos razones: primero, que las poblaciones de los ictiófagos que lo depredan (pejerrey y trucha) se encuentran reducidas; segundo, carencia de métodos de pesca apropiados, ya que las mayores concentraciones de ispi se encuentran entre 30 y 50 m de profundidad en la zona pelágica del lago, reduciéndose su vulnerabilidad. Por ello, se modificó la R.M.045-2006-PRODUCE que establecía el periodo de pesca de cuatro meses al año, siendo remplazado por R.M. 022-2011-PRODUCE que establece el periodo de pesca a ocho meses al año.

Revisando las estadísticas de desembarque entre 2007 y 2010 se constata que el mauri se ha capturado durante estos años en porcentajes alrededor de 2,8% de la captura total anual, lo que indica que esta especie no estaría en peligro de extinción y por lo tanto debería excluirse de los alcances del artículo N° 1 del Decreto Supremo N° 027- 001-PE. No se conoce la biomasa de este recurso, ya que no es detectable a los equipos hidroacústicos porque carecen de vejiga natatoria. Con respecto al periodo de veda por reproducción, se hizo alcance de una Opinión Técnico a la DIREPRO Puno donde se establece la época reproductiva de mayor intensidad entre 01 de agosto hasta 30 de noviembre y al mismo tiempo se sugiere prohibir el uso de redes cortineras con tamaño de malla menor a 26 mm sobre la base de la talla de primera madurez sexual que es de 12,6 cm con una tolerancia del 10% de incidencia en número de juveniles en la captura total.

Con respecto a aquellas especies ícticas como carachi gringo, carachi enano, picachu y carachi albus cuyas capturas son ocasionales (por debajo 2% de la captura total), por el momento no se cuentan con los parámetros poblacionales para medidas de ordenamiento.

Es importante resaltar el incremento de la captura de la trucha silvestre desde 2007 en 1% anual. Sin embargo, sus capturas se ubican por debajo del 2% de la captura anual y no reflejan la época dorada de los años 60 al 80 del siglo pasado.

Con respecto al suche solo se capturó 15,4 kg principalmente en la zona Norte; mientras que la boga no se reportó en el 2010, a excepción de los años 2008 y 2009.

Recomendación

Ante la disminución de la biomasa del pejerrey, la trucha y especies nativas (Orestias y Trichomictéridos) en la última década, especies de alto valor comercial, se recomienda, retomar la política de repoblamiento de trucha en el Lago Titicaca, con el fin de mantener el adecuado balance ecológico entre las especies nativas (complejo ispi) y los peces introducidos y reorientar la actividad pesquera a la zona pelágica como una medida de protección y resguardo del stock ispi en épocas de desove y frezamiento en zona litoral. Además, contribuir en la desatomización de la truchicultura artesanal a pequeña escala (producción <5 t/campaña); el mismo que contribuirá en mejorar la calidad del ambiente acuático y recuperación de la biodiversidad nativa y reducción del esfuerzo pesquero en la zona litoral.

Anexos

Cuadro 1a. Desembarque (kg) mensual de los principales especies ícticas del Lago Titicaca (2010)

	Especie	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
PELÁGICOS	Carachi gringo	7513.30	4805.32	6772.94	7401.54	6533.47	3289.49
	Picachu	299.33	2466.52	2352.77	929.93	43.90	7.98
	Ispi spp	14517.72	2035.47	949.89	3446.34	17335.46	5772.37
	Pejerrey	37862.22	55589.60	72290.87	61371.95	62143.83	37555.30
	Trucha	4745.85	5639.86	8708.64	5957.55	7031.57	5535.69
	Sub total	64938.42	70536.77	91075.11	79107.31	93088.23	52160.83
BENTONICOS	Carachi albus	0.00	0.00	152.86	167.23	75.03	127.72
	Carachi amarillo	23698.11	20116.87	17746.54	17351.42	15288.81	14631.47
	Carachi enano	157.25	229.49	305.32	203.15	182.39	99.78
	Carachi gris	6599.33	6850.77	5685.76	5753.21	4960.97	4511.57
	Mauri	5885.71	4874.36	4140.39	3292.28	2862.04	3139.42
	Suche	2.79	0.00	0.00	8.38	11.18	7.18
	Sub total	36343.20	32071.49	28030.88	26775.67	23380.42	22517.14
TOTAL	101281.61	102608.26	119105.98	105882.98	116468.65	74677.96	

Cuadro 1b. Desembarque (kg) mensual de los principales especies ícticas del Lago Titicaca (2010)

	Especie	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TOTAL	%
PELÁGICOS	Carachi gringo	2969.40	2525.19	185.59	101.77	67.85	117.74	42283.59	2.97
	Picachu	1532.59	191.57	0.00	0.00	3.99	0.00	7828.59	0.55
	Ispi spp	241.46	19517.80	109986.66	87738.92	90949.78	141298.00	493366.82	34.6
	Pejerrey	25201.97	26955.67	32882.89	30785.95	34419.47	34131.71	511191.43	35.9
	Trucha	4733.87	4369.09	2488.87	3276.71	3977.16	5174.50	61639.35	4.32
	Sub total	34679.29	53559.32	145544.00	121903.36	129418.25	180721.95	1116732.84	78.35
BENTONICOS	Carachi albus	29.14	33.92	94.19	96.98	41.11	43.90	862.08	0.06
	Carachi amarillo	15910.23	16953.63	16947.92	15553.02	16376.79	12687.79	203262.59	14.26
	Carachi enano	15.96	65.85	11.97	0.00	15.96	23.95	1311.08	0.09
	Carachi gris	4725.49	4650.46	4327.98	4676.00	4210.64	3897.73	60849.91	4.27
	Mauri	3079.55	3408.02	3444.34	3070.77	2870.82	2130.06	42197.78	2.96
	Suche	0.00	0.00	0.00	0.00	31.93	0.00	61.46	0.00
	Sub total	23760.37	25111.89	24826.40	23396.78	23547.25	18783.44	308544.91	21.65
TOTAL	58439.67	78671.20	170370.40	145300.14	152965.50	199505.38	1425277.74	100.00	

BIBLIOGRAFIA

CUBILLOS L, 2005. Biología pesquera & evaluación de stock. Laboratorio Evaluación de Poblaciones Marinas & Análisis de Pesquerías. Departamento de Oceanografía, UDEC, Concepción, 198 p.

GAYANILOF, SPARREP, PAULY, 2005. D. FAO-ICLARM Stock assessment tools II (FISAT II). Revised version. User's guide. FAO Computerized Information Series (Fisheries). No. 8, Revised version. Rome, FAO. 168 p.

MEJORA DEL RENDIMIENTO DE LA PESCA ARTESANAL

Componente 2A

ESTIMACIÓN DE LA ABUNDANCIA Y BIOMASA DE LOS PRINCIPALES RECURSOS PESQUEROS EN EL LAGO TITICACA

Puno, Diciembre del 2011

CRUCEROS DE ESTIMACIÓN DE LA ABUNDANCIA Y BIOMASA DE LOS PRINCIPALES RECURSOS PESQUEROS EN EL LAGO TITICACA

Los cruceros de evaluación de la biomasa del Lago Titicaca, se ejecutan desde el 2006, con la finalidad de determinar los niveles de abundancia y concentración de los principales recursos ícticos que habitan este ecosistema, además de conocer las condiciones limnológicas del ambiente lacustre y su relación con el comportamiento de estos recursos.

El Lago Titicaca es importante para el soporte de la vida en el altiplano peruano boliviano, ya que es fuente de alimento para las poblaciones asentadas en sus riberas, su característica termorreguladora atenúa las condiciones climatológicas del altiplano, además que alberga una importante biodiversidad. El lago es alimentado por los aportes de los ríos de su contorno (53%) y por las lluvias que caen directamente en su superficie (47%), las pérdidas se deben a la evaporación (91%) y al desagüe superficial que sale por el desaguadero (9%). Teniendo en cuenta los aportes medios, el índice de renovación de las aguas es de 1.79%, o sea un tiempo de residencia medio de 55,8 años, lo que asegura la estabilidad del contenido de sales disueltas, (Roche *et al*, 1991).

El IMARPE a través del Laboratorio Continental de Puno, entre el 2007 y 2011 realizó cruceros de investigación multidisciplinarios con el objetivo de conocer las condiciones limnológicas y la real situación de los recursos pesqueros del lago, mediante técnicas acústicas.

El presente informe contiene los resultados más relevantes de las condiciones limnológicas del lago Titicaca, así como la distribución, concentración y biomasa de los principales recursos pesqueros durante los cruceros abril del 2010 (1004) y julio del 2011 (1107).

CONDICIONES LIMNOLÓGICAS SUPERFICIALES (Crucero 1004 - 1107)

Temperatura: Durante el Crucero abril del 2010 (1004) la temperatura superficial del medio ambiente lacustre, se presentó variable, debido a la influencia de la temperatura del aire y la intensidad de los vientos, originando masas de agua frías. Así mismo, los valores menores estuvieron asociados al horario de muestreo. En general predominaron las isotermas de 15 y 16 °C (Figura 2.1).

El rango de la temperatura superficial del Lago (TSL) fluctuó entre 13,6 y 17,3 °C, con una desviación estándar (S) de 0,69 °C. Las aguas relativamente frías, con temperaturas <15 °C se registraron entre las 06:00 y 08:00 horas. Los valores >17 °C se presentaron en Lago Menor.

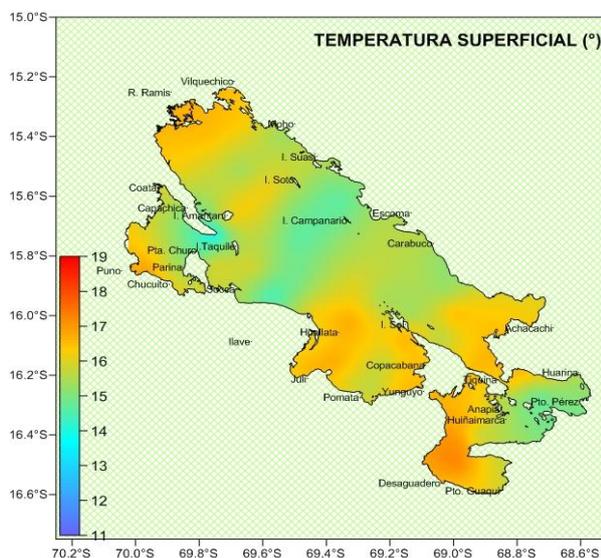


Figura 2.1.- Temperatura superficial del Lago Titicaca (°C) Crucero 1004.

La temperatura a nivel superficial del lago (TSL) durante el Crucero de julio del 2011 (1107) registró masas de agua frías, propias de la estacionalidad del año (invierno), se registró valores entre 10,9 °C y 14,2 °C con un promedio de 12,5 °C, las temperaturas más bajas se encontraron en el lago menor a las 8:54 a.m. frente a la isla Suana, el registro mas alto de temperatura se obtuvo al medio día frente a la isla de la Luna y la península de Copacabana (Figura 2.2).

En la Bahía de Puno, se registró una temperatura superficial promedio de 12,5 °C, con rangos mínimo de 12,3 °C y máximo de 13,1 °C; en el lago Mayor se registraron valores de 11,3 °C y 14,3 °C con una media de 12,6 °C; mientras en el lago menor la TSL fluctuó entre 10,8 °C y 13,6 °C.

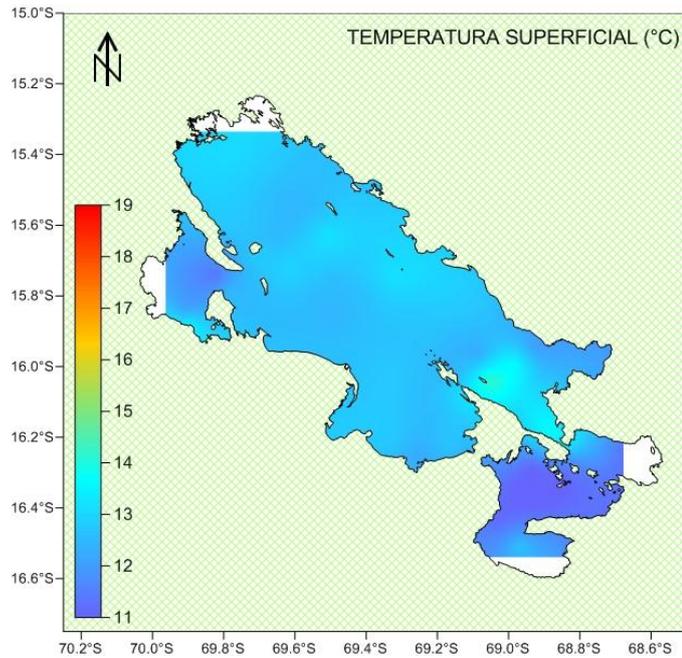


Figura 2.2.- Temperatura superficial del Lago Titicaca (°C). Crucero 1107.

Durante el Crucero 1107, las aguas del Titicaca se encontraron frías, con ligeras variaciones en el lago Mayor, a diferencia de la estructura térmica superficial encontrada en el Crucero 1004 donde se registraron mayores valores y fluctuaciones de temperatura. Esta condición se relaciona con los periodos de estratificación y circulación que sufre el lago Titicaca en el transcurso de un año.

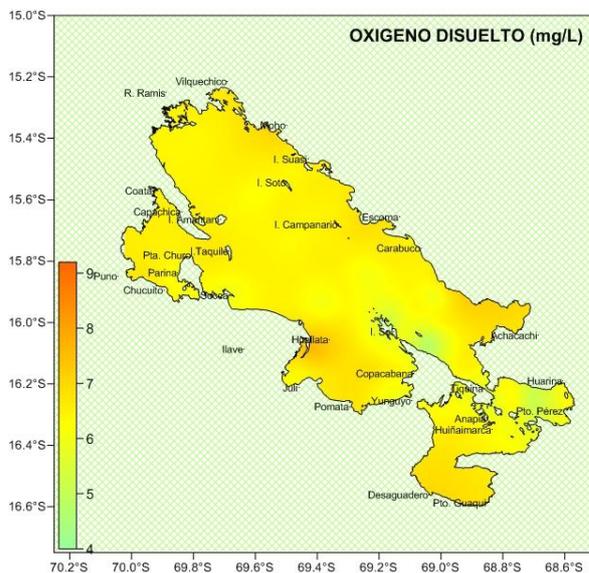


Figura 2.3.- Oxígeno superficial del Lago Titicaca (mg/L). Crucero 1004.

Oxígeno disuelto: El oxígeno disuelto superficial presentó concentraciones entre 4,21 y 7,86 mg/L durante el Crucero 1004, registrándose núcleos aislados cercanos a 4,20 mg/L en zonas próximas a la Isla del Sol y este de Huatajata. En general las concentraciones de oxígeno disuelto se presentaron homogéneas, predominando las iso-oxígenas de 6,00 mg/L en casi la totalidad de la superficie del lago (Figura 2.3). Puesto que el valor-P del análisis ANOVA (0,3237) es mayor a 0,05, no hay una relación estadísticamente significativa entre la TSL y la concentración de oxígeno disuelto con un nivel de confianza del 95,0% o más.

Para el Crucero 1107 se registró en la superficie del lago, una concentración promedio de 6,79 mg/L con valores extremos de 4,76 mg/L y 8,29 mg/L. Los valores más bajos se encontraron en la bahía de Achacachi y los más altos se registraron en la bahía de Puno y en el lago menor frente a Huatajata e isla Taquiri (Figura 2.4).

Las concentraciones de oxígeno disuelto por zonas del lago presentaron marcadas variaciones, en general la superficie del lago presentó altas concentraciones de oxígeno. Así, los mayores tenores de oxígeno se encontraron en áreas próximas al litoral del lago y zonas poco profundas (bahía de Puno y lago menor). En la bahía de Puno, se encontró un promedio de 7,72 mg/L, con valores máximos y mínimos de 7,23 mg/L y 8,22 mg/L respectivamente; en el lago mayor la concentración de este gas osciló entre 4,76 mg/L y 7,94 mg/L con una media de 6,62 mg/L; y en el lago menor se obtuvo 5,70 mg/L y 8,29 mg/L con un promedio de 7,28 mg/L.

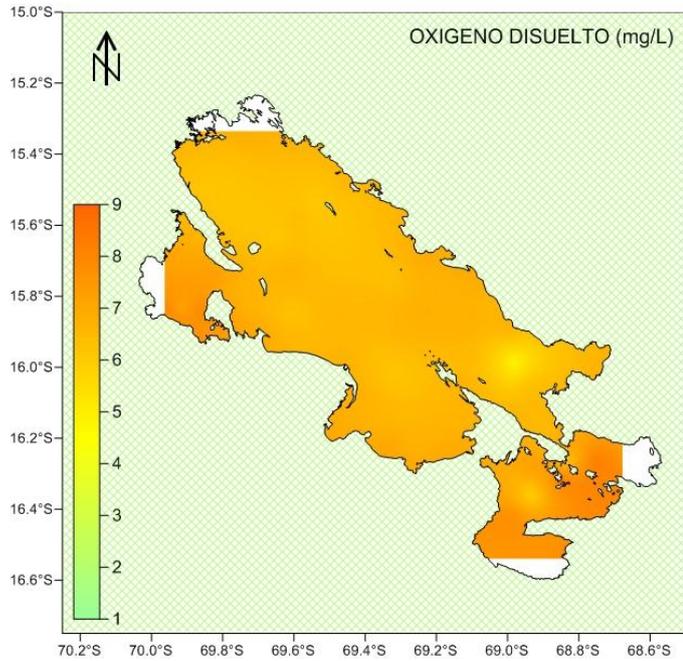


Figura 2.4.- Oxígeno superficial del Lago Titicaca (mg/L). Crucero 1107.

Los resultados mostraron que la variación de oxígeno disuelto en el lago Titicaca obedecerían a la estacionalidad del año y las condiciones morfobatimétricas de la cubeta lacustre. Se observó que en periodos de circulación (julio y agosto), donde se produce el enfriamiento de la columna de agua, la solubilidad de oxígeno se incrementa alcanzando valores de sobresaturación inclusive; mientras que en periodos de transición (abril) entre la estratificación y circulación, donde la temperatura superficial alcanzó valores cercanos a 17 °C la concentración de oxígeno fue menor. Asimismo la forma y profundidad de la cubeta lacustre influyó en la concentración de oxígeno, encontrándose en zonas pocas profundas del lago, con predominancia de vegetación hidrófita, mayores tenores de oxígeno.

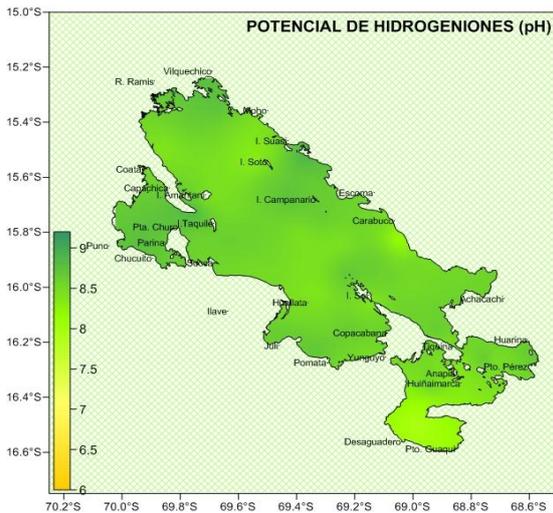


Figura 2.5.- Valores de pH superficial del Lago Titicaca. Crucero 1004.

pH: En el Crucero 1004, los valores de pH en la superficie del Lago Mayor fluctuaron entre 8,10 y 8,90; mientras que en Lago Menor oscilaron entre 7,94 y 8,71 (Figura 2.5). El Lago Mayor y la Bahía de Puno presentaron valores de pH más estables, con un promedio de 8,57 y una $S= 0,14$. A diferencia del Lago Menor, que presentó un promedio de 8,39 y una $S= 0,24$. Los valores observados para el Lago Menor presentaron una amplitud mayor que lo observado por LAZZARO 1981 (Iltis *et al* 1991), quien señala valores comprendidos entre 8,55 y 8,65 (1979-80).

Durante el Crucero 1107, se registró a nivel de la capa superficial del agua del lago Titicaca un valor medio de pH de 8,19; con rangos que fluctuaron entre 7,86 y 8,92, mostrando una tendencia a la alcalinidad, los valores más elevados se observaron en zonas próximas a la bahía de Puno, Villa Socca, Carabuco e isla Anapia (lago Menor); mientras que los registros mas bajos se encontraron en zonas próximas a las islas Campanario y de la Luna (Bolivia) donde se alcanzan profundidades mayores a los 200 m (Fig.2.6).

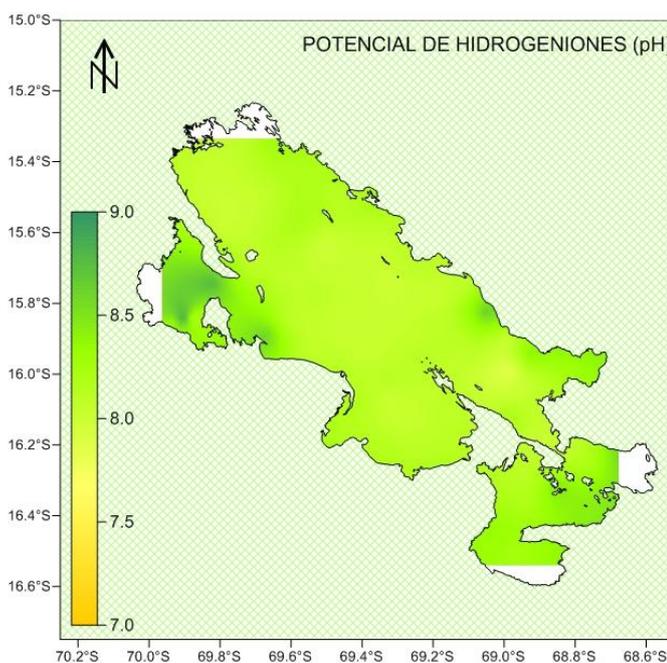


Figura. 2.6.- Valores de pH superficial del Lago Titicaca. Crucero 1107.

El promedio de pH obtenido en la bahía de Puno alcanzo a 8,42 con rangos mínimos de 8,33 y 8,59 relativamente estable; los rangos de pH en el lago mayor fluctuaron entre 7,86 y 8,92 con un promedio de 8,16; mientras que en el lago menor se registraron valores comprendidos entre 8,01 y 8,57 con una media de 8,23. Los pHs ligeramente elevados son posiblemente debido a una actividad fotosintética.

Al igual que el oxígeno disuelto, los cambios del pH en las aguas del Titicaca estuvieron íntimamente ligados a la variación de la temperatura del agua, sobre todo en el lago mayor. Las zonas cerradas y poco profundas, como la bahía de Puno y el lago menor, registraron en ambos cruceros mayores valores de pH, estas zona presentan como característica común abundantes micrófitos y microalgas, por ende una mayor actividad fotosintética que influye en los cambios en el pH.

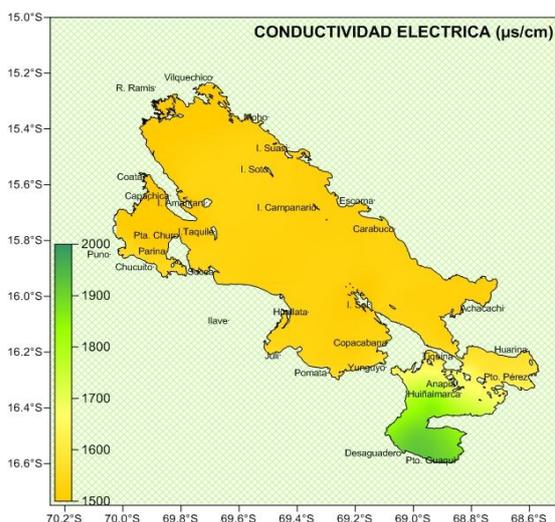


Figura 2.7.- Conductividad eléctrica superficial del Lago Titicaca. Crucero 1004.

Conductividad eléctrica: Durante el 1004, la conductividad eléctrica presentó valores entre 1500 a 1930 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Los valores más altos se presentaron en el Lago Pequeño, en el efluente Desaguadero. El valor- $P > 0,05$ calculado en el ANOVA indica una relación estadísticamente significativa del 36%, entre conductividad eléctrica y los puntos de muestreo con un nivel de confianza del 95,0% (Figura 2.7).

Mientras que la conductividad encontrada durante el Crucero 1107 se encontró relativamente menor, con valores que fluctuaron entre 1407 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 1852 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con una media de 1494 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Los mayores valores de conductividad eléctrica se registraron en el lago menor, frente a Copani, registrándose valores entre 1684 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 1852 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con un promedio de 1686 $\mu\text{S}/\text{cm}$; en la bahía de Puno se registraron valores entre 1430 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 1460 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con un promedio de 1449 $\mu\text{S}/\text{cm}$; mientras que en el lago mayor se encontró entre 1407 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 1530 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con una media de 1461 $\mu\text{S}/\text{cm}$;

En ambos cruceros se pudo notar que, los cambios que sufre la superficie del lago Titicaca en cuanto a su estructura térmica afectan mínimamente a la conductividad eléctrica, siendo el factor común encontrado

en ambos periodos de evaluacion el mayor contenido global de las sales disueltas en el agua, expresado en una mayor conductividad en el lago menor.

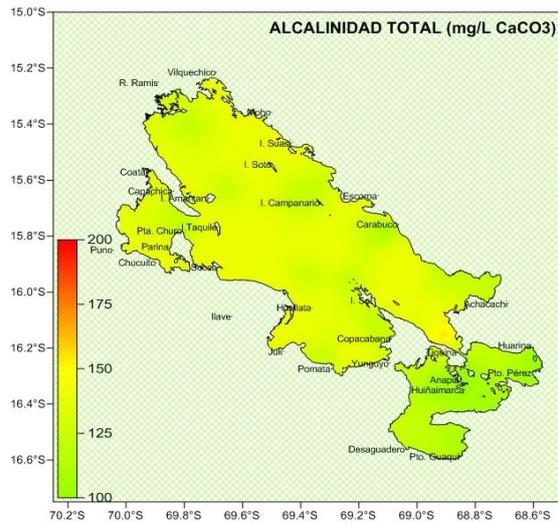


Figura 2.8.- Alcalinidad total superficial del Lago Titicaca.

Dureza total: Los valores de dureza total durante el Crucero 1004 presentaron una distribución variable, con valores en el rango de 307,8 a 410,4 mg/L de CaCO_3 . En el Lago Mayor predominaron concentraciones cercanas a 290,0 mg/L de CaCO_3 ; mientras que el Lago Menor presentó valores de dureza más elevados, con un promedio de 370,9 mg/L de CaCO_3 , siendo las concentraciones más estables en toda la superficie. Se aprecia aguas superficiales más duras, a medida que se aproxima al efluente Desaguadero (Figura 2.9).

Alcalinidad total: La alcalinidad del Lago Titicaca durante el Crucero 1004 presentó valores en el rango de 100 a 160 mg/L de carbonato de calcio (CaCO_3), correspondiendo los valores más bajos al Lago Menor. El perfil horizontal de las aguas del Titicaca mostró en general valores estables, predominando concentraciones mayores a 120 mg/L de CaCO_3 (Figura 2.8).

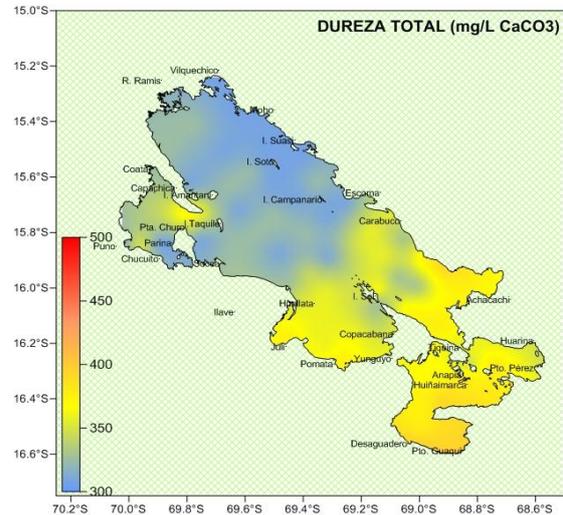


Figura 2.9.- Distribución de la dureza superficial del Lago Titicaca. Crucero 1004

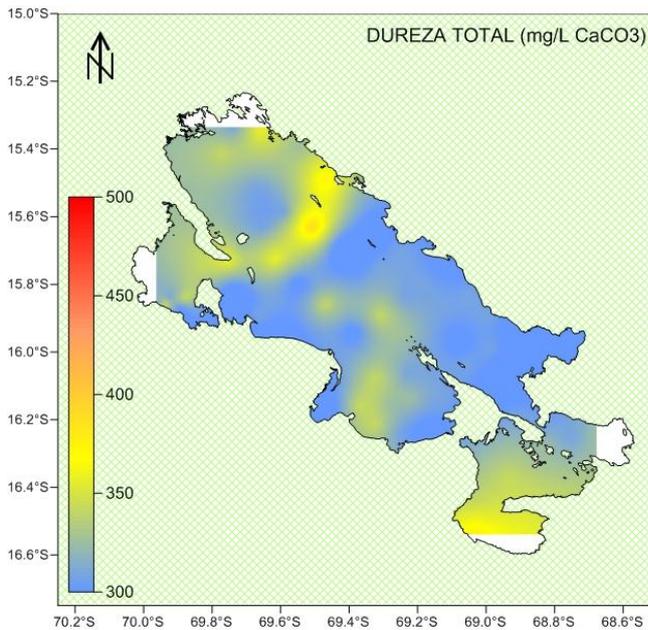


Figura 2.10.- Distribución de la dureza superficial del Lago Titicaca.

Para el Crucero 1107, los valores de dureza total (Ca y Mg) se encontraron entre 393,3 mg/L y 272,6 mg/L con un promedio de 318,9 mg/L, las mayores concentraciones se localizaron frente a la isla Soto y lago menor (Figura 2.10).

En la bahía de Puno, las concentraciones fluctuaron entre 307,8 mg/L y 359,1 mg/L con un promedio de 324,9 mg/L; en el lago mayor el promedio obtenido fue de 316,2 mg/L, con fluctuaciones entre 273,3 mg/L y 393,3 mg/L; en el lago menor se registraron entre 307,8 mg/L y 376,2 mg/L con una media de 330,2 mg/L. Las condiciones altas de dureza total favorecieron la precipitación de CaCO_3 en el agua, que podría ocurrir en la bahía de Puno, en zonas litorales y en mayor proporción en el lago menor, por su escasa profundidad.

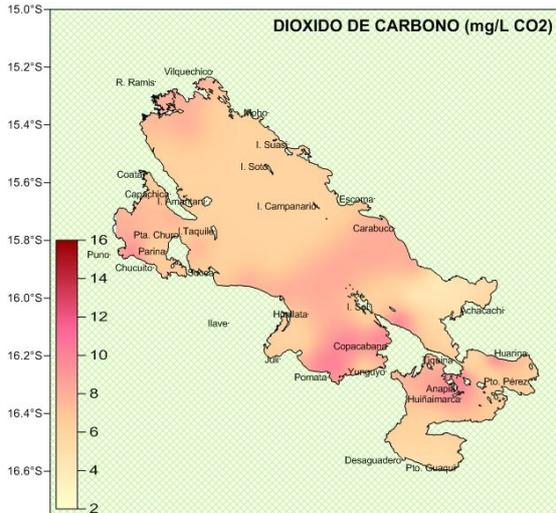


Figura 2.11.- Distribución de CO₂ superficial del Lago Titicaca. Crucero 1004.

Las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂) en las aguas superficiales durante el Crucero 1107 fluctuaron entre 6 mg/L y 14 mg/L con un promedio global de 9,09 mg/L. Las altas concentraciones se registraron en la zona de Moho y las bajas en la zona de Desaguadero y Copani (Figura 2.12).

Los valores de CO₂ encontrados en la bahía de Puno fluctuaron entre 8 mg/L y 12 mg/L con un promedio de 9,67 mg/L; en el lago mayor se registraron entre 6 mg/L y 14 mg/L con un promedio de 9,25 mg/L; mientras que en el lago menor se obtuvo de 6 mg/L a 10 mg/L con una media de 8 mg/L.

Dióxido de carbono: Durante el Crucero 1004, el dióxido de carbono en superficie presentó concentraciones relativamente estables, los valores extremos encontrados fueron 4 y 10 mg/L, con un promedio de 6,88 mg/L y una $S=1,48$. Las mayores concentraciones de este gas se registraron hacia las zonas litorales, mayormente cubierta de vegetación (Figura 2.11).

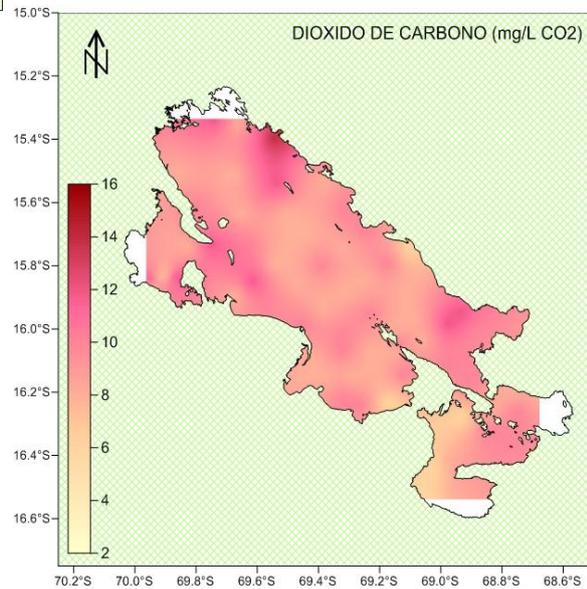


Figura 2.12.- Distribución de CO₂ superficial del Lago Titicaca.

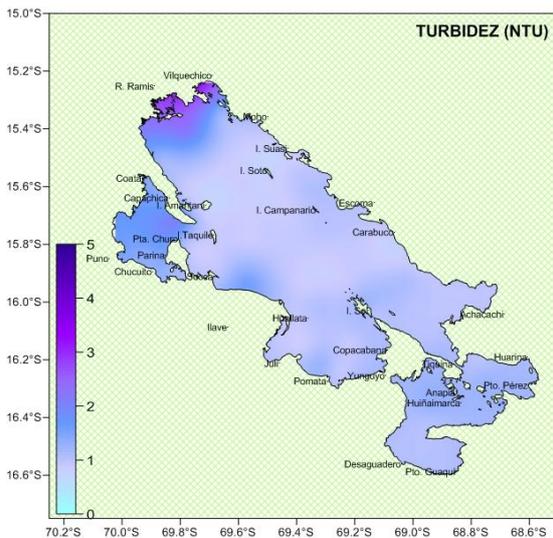


Figura 2.13.- Distribución de turbidez superficial del Lago Titicaca. Crucero 1004

Turbidez: En el Crucero 1004, en general el grado de turbidez indicó aguas claras, con bajo contenido de partículas en suspensión, los valores se encontraron en el rango de 0,7 a 3,4 NTU, siendo la zona de Ramis el área que presentó los mayores valores de turbidez, influenciado posiblemente por partículas en suspensión que arrastra el río Ramis. Los niveles de turbidez del Lago Menor (cerca de 1 NTU) obedecen a aguas poco profundas con mayor contenido de partículas en suspensión (Figura 2.13).

Durante el Crucero 1107 se monitorearon también los siguientes parámetros:

Sólidos suspendidos totales: Las concentraciones de sólidos suspendidos totales obtenidos en aguas superficiales del lago, fueron entre 1,33 mg/L y 31,33 mg/L con un promedio de 14,64 mg/L, dichos valores fueron fluctuantes debido posiblemente a las corrientes existentes en el lago. En la bahía de Puno se registraron concentraciones de 17,61 mg/L en promedio con variaciones entre 1,33 mg/L y 27,33 mg/L; en el lago mayor fluctuaron entre 1,33 mg/L y 31,33 mg/L con un promedio de 14,75 mg/L; y en el lago menor se obtuvo un promedio de 12,69 mg/L y variaron entre 2,33 mg/L y 22,33 mg/L. Las mayores concentraciones se obtuvieron en la bahía de Puno y descendieron gradualmente en el lago mayor y menor.

Clorofila a: El contenido de clorofila a, un indicador de la biomasa fitoplanctónica, alcanzó un promedio de 1,45 mg/m³ con fluctuaciones de concentraciones entre 1,00 mg/m³ frente a Iscaya y 3,87 mg/m³ frente a la isla de la Luna y península de Copacabana. En la Bahía de Puno, las concentraciones medias fueron de 1,81 mg/m³ con variaciones entre 1,02 mg/m³ y 3,67 mg/m³, con respecto al lago mayor, el promedio obtenido fue de 1,42 mg/m³ con fluctuaciones de 1,00 mg/m³ a 3,87 mg/m³, mientras en el lago menor se obtuvo un promedio de 1,42 mg/m³ y variaciones entre 0,47 mg/m³ y 3,40 mg/m³. Las concentraciones fueron ligeramente superiores en la bahía de Puno.

Nitratos: Las concentraciones de nitratos alcanzaron valores elevados de 0,532 mg/L en el estrecho de Tiquina y valores menores de 0,025 mg/L frente a Socca, las concentraciones medias fueron de 0,089 mg/L. En la bahía de Puno, se obtuvieron concentraciones entre 0,051 mg/L y 0,160 mg/L y una media de 0,086 mg/L, en el lago mayor se registró valores que alcanzaron a 0,240 mg/L y mínimos de 0,015 mg/L con un promedio de 0,086 mg/L; en el lago menor se obtuvieron concentraciones medias de 0,087 mg/L, fluctuaron entre 0,021 mg/L y 0,532 mg/L. Las concentraciones medias se mantuvo fluctuante con valores altos en la bahía de Puno.

Nitritos: Los valores de Nitritos fueron fluctuantes, las concentraciones medias fueron de 0,009 mg/L alcanzando valores hasta 0,032 mg/L frente a Llachon. En la bahía de Puno se obtuvieron valores de 0,004 mg/L y 0,025 mg/L con una media de 0,014 mg/L; los rangos de 0 mg/L a 0,032 mg/L con un promedio de 0,009 mg/L se registraron en el lago mayor; en el lago menor alcanzaron condiciones de 0,004 mg/L y 0,0019 mg/L con un promedio de 0,010 mg/L. Las concentraciones medias más elevadas se obtuvieron en la bahía de Puno.

Fosfatos: Las concentraciones fluctuaron entre 0,005 mg/L y 0,570 mg/L y se obtuvieron un promedio de 0,051 mg/L. Los valores más altos se registraron frente a Llachón y las más bajas frente a Puerto Acosta. Las concentraciones obtenidas en la bahía de Puno fueron de 0,027 mg/L y 0,100 mg/L con una media de 0,063 mg/L; en el lago mayor se registraron valores promedios de 0,537 mg/L con fluctuaciones entre 0,005 mg/L y 0,057 mg/L; y en el lago menor las concentraciones variaron entre 0,023 mg/L y 0,068 mg/L con un promedio de 0,042 mg/L. Las concentraciones medias ligeramente elevadas se obtuvieron en las zonas litorales del lago.

Silicatos: En aguas superficiales del lago se obtuvieron concentraciones de 0,728 mg/L en promedio, con variaciones de 0,180 mg/L en la bahía de Puno frente a Icho, alcanzando valores de 6,088 mg/L frente a la isla Soto y Campanario. Las concentraciones medias fueron de 0,356 mg/L en la bahía de Puno, 0,793 mg/L en el lago mayor y 0,563 mg/L en el lago menor.

ESTRUCTURA VERTICAL

Sección 1: Perfil Chimu – Parina (Bahía de Puno), Crucero 1004: Esta sección vertical presentó temperaturas que fluctuaron de 15,2 °C a 17,0°C, con un comportamiento térmico relativamente homogéneo en todo el perfil a excepción de la zona frente a Chimu con un ligero incremento. La concentración de oxígeno disuelto presentó valores homogéneos a nivel vertical, con valores superiores a los 5 mg/L, excepto en la zona profunda de Chimu, que registró valores cercanos a los 4,5 mg/L. El pH se presentó muy estable en todo perfil, con valores que fluctuaron entre 8,67 y 8,85. La dureza tuvo

concentraciones propias de aguas duras, con valores extremos de 307,8 y 359,1 mg/L de CaCO_3 , con valores relativamente menores en la parte media del perfil y hacia la ribera de Parina. El CO_2 registró poca variación, fluctuando entre 6,0 y 10,0 mg/L. Los mayores valores se encontraron hacia la zona de Chimu. La turbidez se mostró mayor en la capa próxima al fondo del perfil, los valores fluctuaron entre 1,3 y 2,6 NTU (Figura 2.14).

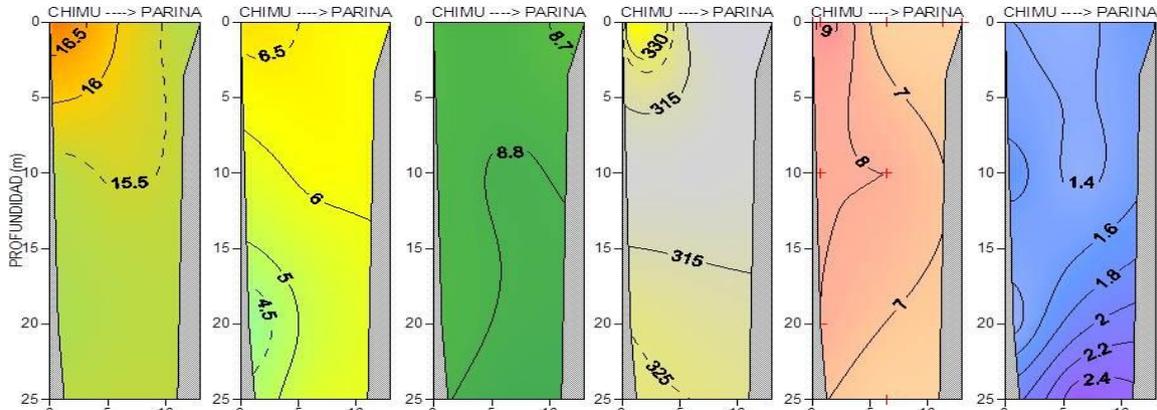


Figura 2.14.- Distribución vertical de la temperatura, oxígeno disuelto, pH, dureza total, CO_2 y turbidez en el perfil Chimu - Parina en la bahía de Puno durante el Crucero 1004

Crucero 1107: La distribución vertical de temperaturas presentó variaciones de 11,7 °C a 12,9 °C, con un comportamiento térmico relativamente homogéneo en todo el perfil, tuvo un ligero incremento en el litoral frente a Chimu. La concentración de oxígeno disuelto presentó valores homogéneos a nivel vertical, con valores superiores a los 7 mg/L, con ligeros incrementos a hasta 8 mg/L en la zona profunda entre 12 a 18 m. Los valores de pH se presentaron relativamente estables con valores que fluctuaron entre 8,3 y 8,5. Con respecto a los valores de la conductividad fluctuaron ligeramente entre 1490 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 1495 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la columna de agua, tuvo cierta disminución de 1485 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 3 m. de profundidad frente a Chimu; Las concentraciones de la clorofila alcanzaron hasta 3,5 mg/m^3 en la columna de agua, con incremento brusco en el fondo de la zona frente a Chimu (Figura 2.15). La distribución vertical de dureza total presentó valores entre 307,8 mg/L y 359,1 mg/L como CaCO_3 , concentraciones altas se obtuvieron hacia la zona de Parina. Las concentraciones de dióxido de carbono (CO_2) se registraron entre 8 y 10 mg/L; se mantuvo relativamente homogénea hasta los 25 m. de profundidad.

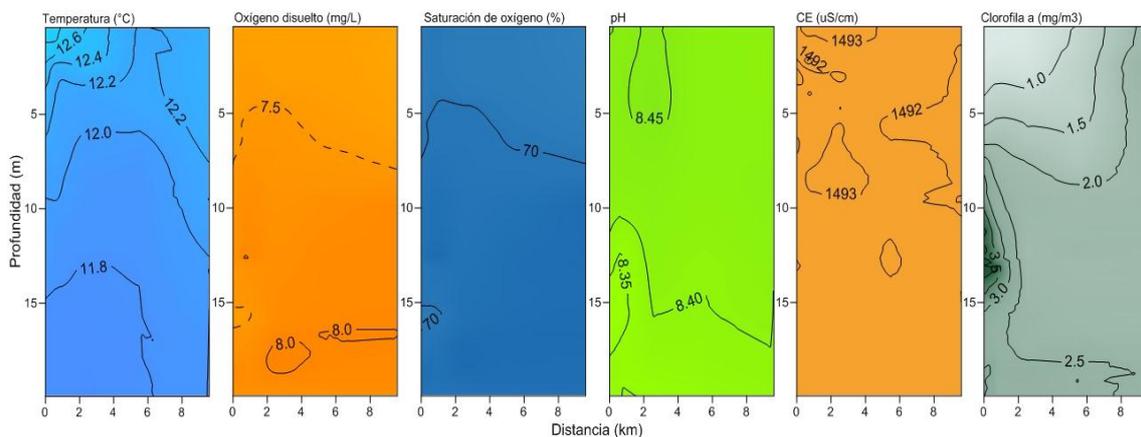


Figura 2.15.- Distribución vertical de temperatura, oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica y clorofila en el perfil Chimu-Parina, durante el Crucero 1107

Sección 2: Perfil Capachica - Moho, Crucero 1004: La temperatura a nivel vertical mostró distribución homogénea en toda la columna de agua, con tres isotermas (13° a 15° C) en la capa de 0 a 100 m y un rango que fluctuó entre 12,1° y 15,3°C. Hacia la zona ribereña de Capachica, la isoterma de 15°C se presentó a 5 m, descendiendo progresivamente hasta alcanzar 20 m de profundidad a una distancia de 20 km desde la línea de orilla (Capachica). La distribución vertical de oxígeno disuelto fluctuó entre 7,04 y

3,18 mg/L. Al igual que las isotermas, la configuración de las isoxigenas presentó una disminución gradual de sus valores en función a la profundidad, encontrándose la isoxigena de 4 mg/L cerca a los 50 m y la de 6mg/L a los 25 m. El pH mostró un comportamiento relativamente estable, con valores que oscilaron entre 8,1 y 8,6. Los valores de pH registrados fueron relativamente mayores en superficie. La dureza total presentó valores en el rango de 307,8 a 324,9 mg/L de CaCO₃, en la capa superficial hasta los 15 m se presentaron valores hasta de 315,0 mg/L. La concentración de dióxido de carbono (CO₂) se encontró entre 6 y 8 mg/L, los valores muestran un claro incremento a medida que aumenta la profundidad. Mientras que los valores de turbidez se encontraron ligeramente mayores en superficie, fluctuando entre 0,9 y 0,7 NTU (Figura 2.16).

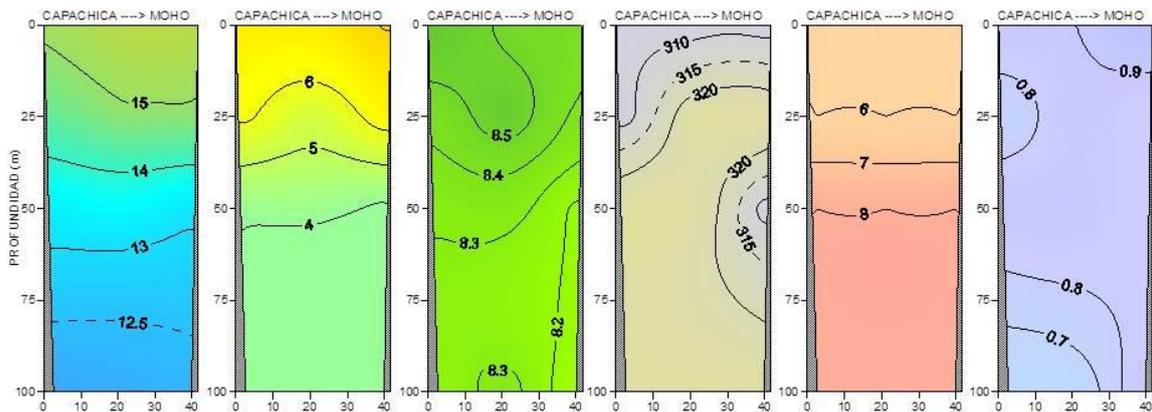


Figura 2.16.- Distribución vertical de temperatura, oxígeno disuelto, pH, dureza total, CO₂ y turbidez en el perfil Capachica- Moho), durante el Crucero 1004

Crucero 1107: La temperatura a nivel vertical mostró distribución homogénea en toda la columna de agua, con dos isotermas (12.2° a 12.4° C) en la capa de 75 a 150 m y un rango que fluctuó entre 11.30° y 13°C. La isoterma de 13°C se presentó a 5 m frente a Moho, las isotermas mas bajas se encontraron por debajo de 100 m. al frente de Capachica con un registro de 11.27°C. La configuración del oxígeno en la columna del agua fluctuó entre 7,00 y 4,00 mg/L; presentó una disminución progresiva de sus valores en función a la profundidad, encontrándose la isoxigena de 4 mg/L cerca a los 100 m. El pH expresó valor relativamente estable hasta 100 m., que oscilaron entre 8,0 y 8,6; y por debajo de los 100 m. registro un decaimiento hasta los 7,50. La distribución de la conductividad fluctuó entre 1442 µS/cm y 1500 µS/cm. Las concentraciones de la clorofila a alcanzaron hasta 2,0 mg/m³ hasta 25 m. con disminución progresivo de 1 mg/m³ a 100 m (Figura 2.17). La dureza total (expresado en CaCO₃) presentó valores fluctuantes de 307,8 mg/L a 100 m de profundidad y 342,0 mg/L en la capa superficial. La concentración de dióxido de carbono (CO₂) se encontró entre 6 y 10 mg/L, los valores muestran un claro incremento a medida que aumenta la profundidad.

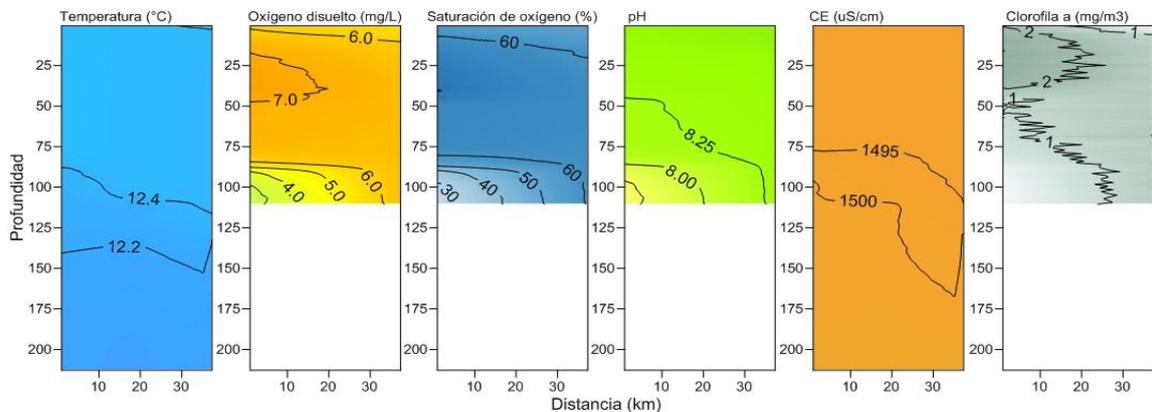


Figura 2.17.- Distribución vertical de temperatura, oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica y clorofila en el perfil Capachica- Moho, durante el Crucero 1107

Sección 3: Perfil Villa Socca – Tilali, Crucero 1004: La distribución vertical de temperatura mostró una distribución homogénea en toda la columna de agua con tres isoterma (13° a 15° C) en la capa de 0 a 100 m, al igual que la sección Capachica - Moho, con rangos que fluctuaron entre 12,1° y 15,9°C. La isoterma de 15°C se presentó a 25 m de profundidad. En la Figura 11 se presenta la distribución vertical de las isoxigenas de 4,0 a 6,0 mg/L. La isoxígena de 6 mg/L se presentó a 25 m de profundidad, observándose los mayores cambios en la concentración de oxígeno entre los 25 y 50 m. El pH mostró un comportamiento irregular, con una tendencia vertical en la distribución de los valores de este parámetro, que oscilaron entre 8,47 y 8,90, con registros más elevados hacia Tilali. La dureza total, al igual que en el perfil Capachica – Moho, presentó valores entre 307,8 a 324,9 mg/L de CaCO₃, encontrándose los valores más bajos en superficie. El dióxido de carbono (CO₂) presentó concentraciones entre 6 y 10 mg/L, con concentraciones más altas hacia la zona de mayor profundidad frente a Tilali. Los valores de turbidez se encontraron ligeramente mayores en superficie, fluctuando entre 0,7 y 0,9 NTU (Figura 2.18).

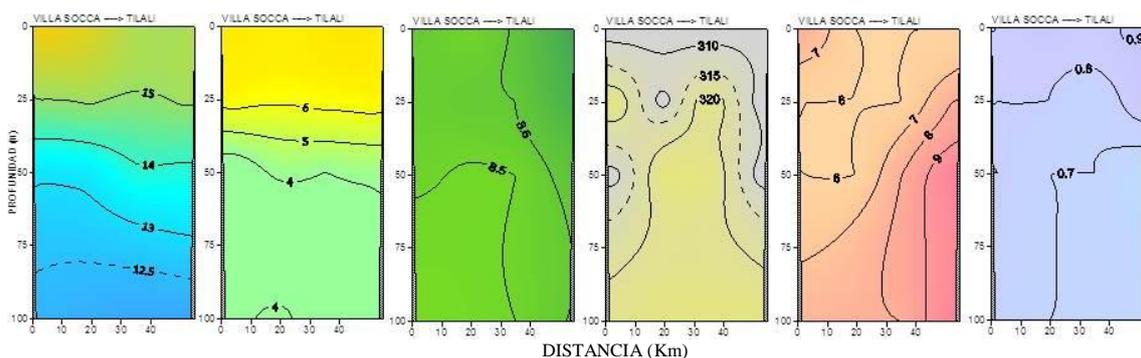


Figura 2.18.- Distribución vertical de la temperatura, oxígeno disuelto, pH, dureza total, CO₂ y turbidez en el perfil Villa Socca- Tilali, durante el Crucero 1004.

Crucero 1107: La distribución vertical de temperatura mostró relativamente homogénea en la columna de agua con isoterma (12,2° a 12,6° C) en la capa de 0 a 175 m., con rangos que fluctuaron entre 11,90° y 13,22°C. La isoterma alta se presentó a 0 m. de profundidad. El oxígeno disuelto presentó una distribución vertical de 2,0 a 7,0 mg/L. las concentraciones relativamente mayores (6 – 7 mg/L) se obtuvieron entre 0 m. a 50 m. El pH mostró un comportamiento relativamente homogéneo hasta los 100 m., con una disposición vertical que oscilaron entre 8,00 y 8,30; se obtuvo con registros más elevados en el litoral. La concentración de clorofila fluctuó entre 1 mg/m³ a 2,5 mg/m³ en la columna vertical con tendencias relativamente altas frente a Villa Socca. La distribución de la conductividad se mantuvo relativamente fluctuante entre 1,453 μS/cm y 1500 μS/cm (Figura 2.19). La dureza total, presentó valores entre 393.30 a 356.30 mg/L de CaCO₃, encontrándose los valores más altas en superficie frente a Villa Socca. El dióxido de carbono (CO₂) presentó concentraciones entre 6 y 10 mg/L, con concentraciones más altas hacia la zona de mayor profundidad frente a Villa Socca.

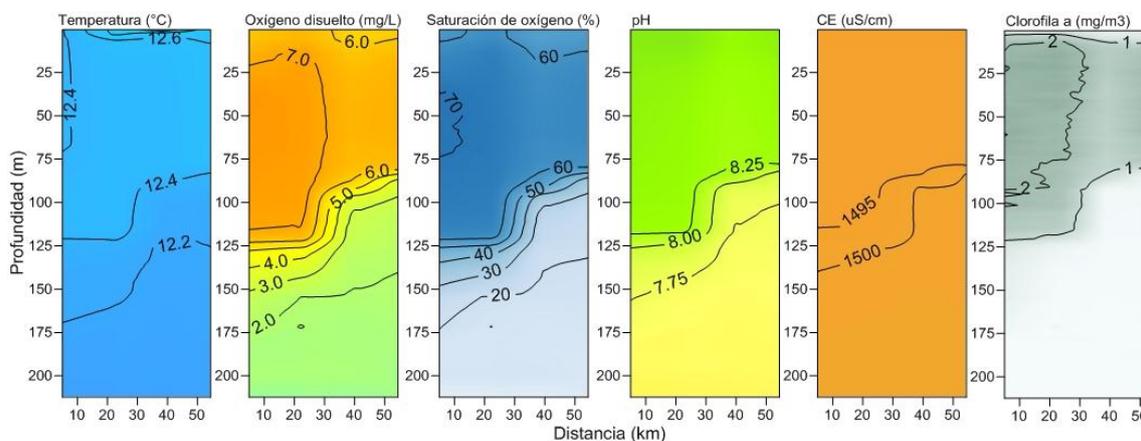


Figura 2.19.- Distribución vertical de temperatura, oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica y clorofila en el perfil Villa Socca – Tilali, durante el Crucero 1107

Sección 4 : Perfil llave – Escoma, Crucero 1004: La temperatura mostró una distribución homogénea en toda la columna de agua con 3 isotermas (13° a 15°C) en la capa de 0 a 100 m, con rangos que fluctuaron entre 12,1° y 15,5 °C. Hacia la zona de llave se apreció la surgencia de aguas frías. La isoterma de 15°C se encontró a nivel superficial a 10 km de llave, para profundizarse hasta 25 m a una distancia de 25 km frente a llave. En general, hubo profundización de las isotermas hacia Escoma. En la distribución vertical de oxígeno disuelto se muestra las isoxígenas de 4,0 a 6,0 mg/L. La isoxígena de 6 mg/L se presentó aproximadamente a 25 m de profundidad, al igual que en la sección anterior. Entre los 25 y 50 m de profundidad se presentaron los mayores cambios en la concentración de este parámetro. Los valores de pH mostraron una configuración vertical, con mínimas fluctuaciones entre la superficie y los 100 m de profundidad. Los valores oscilaron entre 8,35 y 8,65; en las zonas próximas a la ribera se registraron los valores ligeramente más altos de pH, que están en relación con el CO₂. La dureza total del agua presentó una estratificación vertical, con valores entre 307,8 y 359,1 mg/L de CaCO₃, se evidenció aguas más duras hacia la zona de llave. La concentración de dióxido de carbono (CO₂) se encontró entre 6 y 10 mg/L, al igual que en la sección Capachica- Moho. Los valores mayores a 8 mg/L se encontraron próximos a los 50 m de profundidad. A nivel del Lago Mayor, este perfil presentó los valores más altos de turbidez, con rangos que fluctuaron entre 0,9 y 1,7 NTU (Figura 2.20).

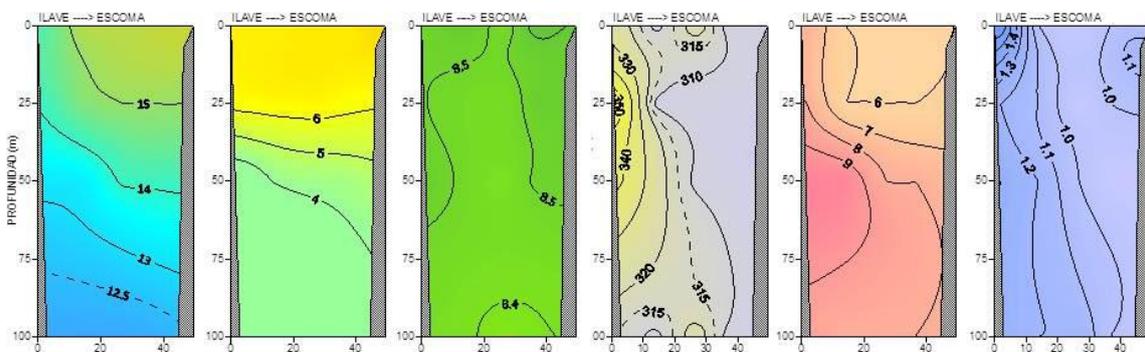


Figura 2.20.- Distribución vertical de la temperatura, oxígeno disuelto, pH, dureza total, CO₂ y turbidez en el perfil llave – Escoma, durante el Cr1004. BIC IMARPE VIII.

Crucero 1107: La temperatura mostró una distribución homogénea en toda la columna de agua con 3 isotermas (12,2 a 12,6°C) en la capa de 0 a 150 m, con rangos que fluctuaron entre 12,2° y 13,0 °C. Hacia la zona de llave se apreció isotermas relativamente altas, En la distribución vertical de oxígeno disuelto se mostraron fluctuaciones desde 7,0 en la superficie a 1,0 mg/L en el fondo a 200 m., se presentaron isotermas relativamente homogénea hasta los 75 m. con decaimiento paulatina en el fondo. Los valores de pH mostraron una configuración vertical, con mínimas fluctuaciones entre la superficie y los 75 m. de profundidad. Los valores de pH oscilaron entre 7,52 y 8,46 en la columna del agua; se registraron valores ligeramente altos de pH en las zonas próximas a la ribera. Se registraron valores de conductividad entre 1407 y 1500 μS/cm con fluctuaciones mínimas. Las concentraciones de clorofila se mostró fluctuante entre 0,5 mg/m³ y 2,0 mg/m³ con tendencias relativamente alta entre 0 a 25 m (Figura 2.21). La dureza total del agua presentó valores de 342 mg/L en la superficie del agua con una fluctuación vertical de 290,70 mg/L en el fondo a 100 m., se registraron aguas más duras hacia la zona de llave. La concentración de dióxido de carbono (CO₂) se encontró entre 4 y 10 mg/L; valores mayores a 8 mg/L se encontraron a partir de los 75 m de profundidad.

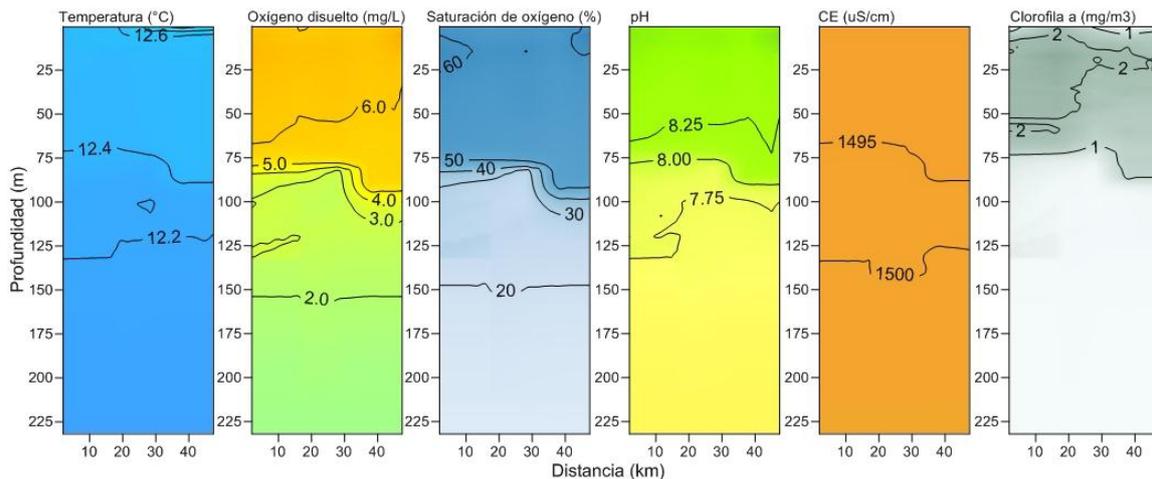


Figura 2.21.- Distribución vertical de temperatura, oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica y clorofila en el perfil llave – Escama, durante el Crucero 1107.

Sección 5: Perfil Pilcuyo – Carabuco, Crucero 1004: En esta sección, la estructura térmica tuvo una distribución muy similar a la sección Villa Socca – Tilali, ubicándose la isoterma de 15°C a 25 m de profundidad. Hacia la zona superficial de Pilcuyo, se registró valores cercanos a 16°C. Las isotermas menores a 13°C se encontraron por debajo de los 70 m de profundidad. En la capa superficial próxima a la costa de Pilcuyo, se ubicó la isoxígena de 7 mg/L, representando las mayores concentraciones de toda el área evaluada, la isoxígena de 6 mg/L se ubicó próxima a los 25 m de profundidad similarmente al resto de las secciones. Los cambios significativos en la concentración de oxígeno en esta sección se dieron entre los 25 y 75 m, presentando una amplitud mayor respecto al resto de las secciones. El pH mostró un comportamiento relativamente estable en la capa de 0 a 100 m de profundidad, hasta aproximadamente 35 km de Pilcuyo, con valores que fluctuaron entre 8,0 y 8,6. Hacia la costa de Carabuco el pH presentó mayor variación, encontrándose los valores más altos hacia los 100 m de profundidad. Esta sección presentó los valores de dureza más elevados de toda el área, con rangos de oscilación entre 324,9 a 376,2 mg/L de CaCO₃ y la zona media de esta sección presentó los valores menores. La concentración de dióxido de carbono (CO₂) se encontró entre 6 y 10 mg/L, los valores muestran un claro incremento a medida que aumenta la profundidad. Los valores de turbidez se encontraron ligeramente mayores en superficie, fluctuando entre 1,0 y 0,5 NTU (Figura 2.22).

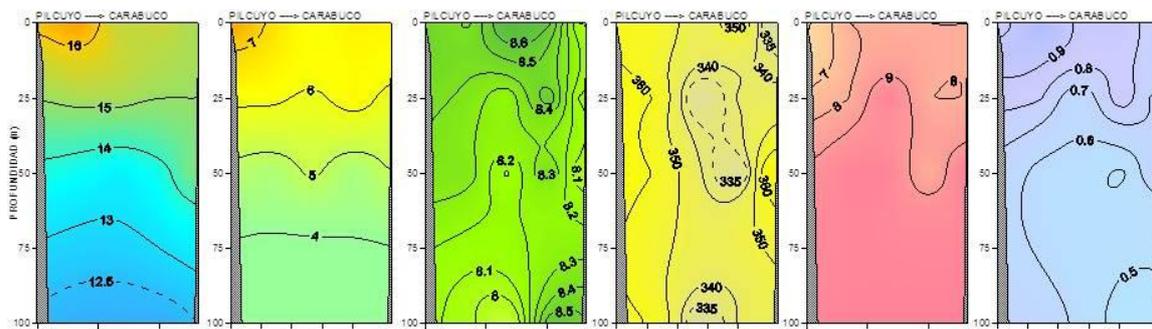


Figura 2.22.- Distribución vertical de la temperatura, oxígeno disuelto, pH, dureza total, CO₂ y turbidez en el perfil Pilcuyo – Carabuco , durante el Crucero 1004.

Crucero 1107: La distribución vertical de la temperatura tuvo fluctuaciones entre 11,9 °C y 12,7 °C, encontrándose isoterma relativamente altas de 0 a 25 m de profundidad. Las isotermas menores a 12,5°C se encontraron por debajo de los 50 m de profundidad y disminuyendo en el fondo frente a Pilcuyo, en cambio frente a Carabuco se mantuvo relativamente oscilante. La concentración de oxígeno entre los 25 y 100 m registró valores de 6 mg/L, presentando una amplitud menor frente a Pilcuyo. Los valores de pH mostraron un comportamiento relativamente estable en la capa de 0 a 100 m de profundidad, con registro que fluctuaron entre 8,0 y 8,5. Frente a Pilcuyo y la costa de Carabuco el pH presentó poca variación, encontrándose los valores más bajos hacia los 100 m de profundidad. La conductividad eléctrica

registraron valores fluctuantes entre 1495 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en superficie y 1505 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el fondo por debajo de 100 m. con respecto a la Clorofila a se obtuvo valores entre 2,3 mg/m^3 y 1 mg/m^3 de 0 a 25 m. de profundidad, y con disminución brusco hacia el fondo. Concentraciones relativamente altas se encontraron en las zonas costeras frente a Pilcuyo y Carabuco (Fig.2.23). Esta sección presentó una distribución vertical de dureza total (expresado en CaCO_3) entre 290,70 mg/L y 324,90 mg/L . la zona media de esta sección presentó los valores mayores. La concentración de dióxido de carbono (CO_2) se encontró entre 4 y 12 mg/L , mostrando configuraciones altas a medida que aumenta la profundidad.

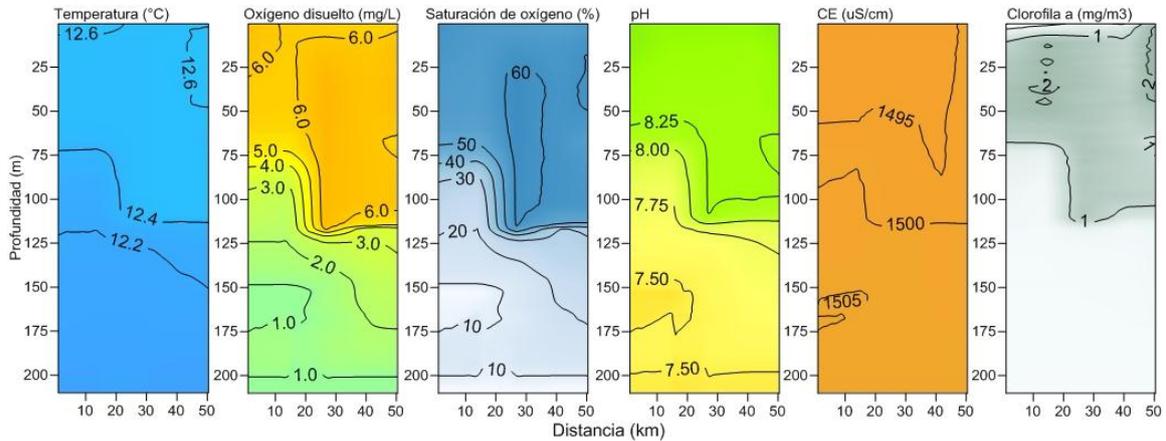


Figura 2.23.- Distribución vertical de temperatura, oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica y clorofila en el perfil Pilcuyo – Carabuco, durante el Crucero 1107.

Sección 6: Perfil Desaguadero – Huatajata, Crucero 1004: En este perfil limnológico del Lago Menor, no hubo estratificación termal, las isotermas tuvieron una configuración vertical con rangos de temperatura que fluctuaron entre 15,2° y 17,0°C. En toda la columna de agua no se apreció grandes fluctuaciones de temperatura, registrándose las temperaturas más altas hacia la zona de Desaguadero. Al igual que las isotermas, las isoxígenas no mostraron una estratificación horizontal, los valores de oxígeno disuelto fluctuaron entre 5,90 y 7,04 mg/L , con valores más altos hacia la zona de Desaguadero. El pH se registró entre 8,02 y 8,71, apreciándose una disminución progresiva a medida que las aguas discurren hacia la desembocadura. La dureza total registró valores entre 342,0 a 410,4 mg/L de CaCO_3 , no se apreció diferencias significativas entre la superficie y el fondo. Esta parte del Lago presentó masas de agua con mayor dureza, especialmente las zonas cercanas a Desaguadero. El contenido de CO_2 en el agua, se encontró ligeramente menor a los extremos del perfil (zonas ribereñas), los valores fluctuaron entre 4,0 y 10,0 mg/L CO_2 . En este perfil, la turbidez alcanzó los mayores valores de toda el área evaluada, entre 1,02 y 2,39 NTU, específicamente en las zonas próximas al fondo de la parte media del perfil (Figura 2.24).

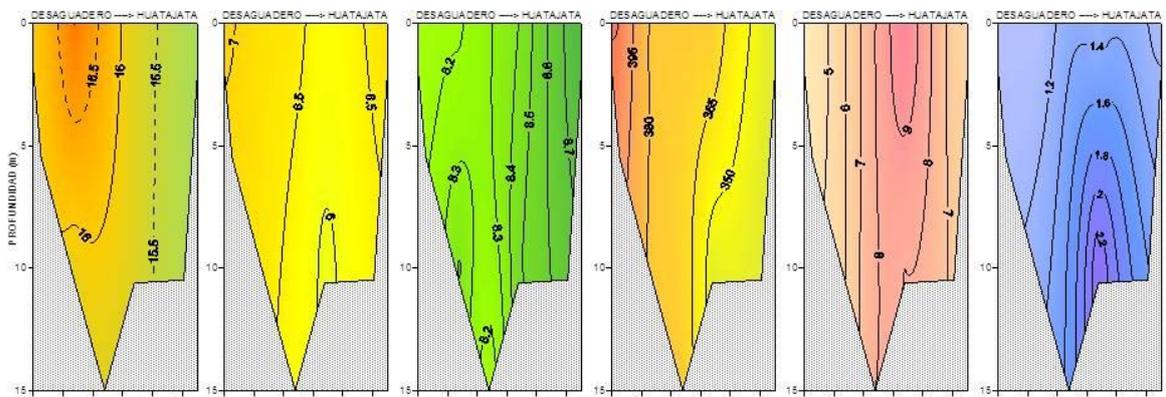


Figura 2.24.- Distribución vertical de la temperatura, oxígeno disuelto, pH, dureza total, CO_2 y turbidez en el perfil Desaguadero – Huatajata en el Lago Menor (distancia en km) durante el Cr1004. BIC IMARPE VIII.

Con respecto al comportamiento físico químico del agua en el Lago Menor, las isotermas tuvieron una configuración vertical con rangos de temperatura que fluctuaron entre 10,8 °C y 11,8 °C, se presentaron fluctuaciones mínimas de temperatura, obteniéndose temperaturas altas hacia la zona de Desaguadero. La distribución vertical de concentraciones de oxígeno mostraron valores relativamente homogéneas con fluctuaciones leves entre 7,38 mg/L y 8,31 mg/L, presentaron ligeras sobresaturaciones de origen probablemente fotosintético hacia la zona costeras de Desaguadero. El pH se registró entre 8,12 y 8,57, apreciándose una disminución progresiva. La conductividad presentó una distribución vertical relativamente homogénea, obteniéndose valores de 1542 $\mu\text{S}/\text{cm}$ frente a la zona de Huatajata y elevándose gradualmente hasta 1857 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el lago menor entre Desaguadero e isla Anapia. Las concentraciones de clorofila *a* se registraron valores entre 0,1 mg/m^3 y 3,4 mg/m^3 , con mayor presencia frente a la isla Anapia y distribuciones mínimas en zonas costeras frente a Desaguadero. La dureza total registró valores entre 324,90 a 376,20 mg/L de CaCO_3 , no se apreciaron diferencias significativas entre la superficie y el fondo, se obtuvieron concentraciones altas de dureza frente a Desaguadero. Las concentraciones de CO_2 en el agua, se encontró ligeramente menor a los extremos del perfil (zonas ribereñas), los valores fluctuaron entre 4,0 y 10,0 mg/L CO_2 .

Densidad: La densidad del agua del Lago en la zona prospectada (Figura 2.25), mostró un rango de isopicnas 999,38 a 999,69 kg/m^3 , con promedio de 999,59 kg/m^3 . Cabe resaltar que en Chucuito la concentración más densa está hacia el norte, es decir desde Moho hasta Llave (zona central del lago) formando una isopicna irregular, en cambio frente a Pomata se encuentra la menor densidad mostrada en el gráfico por descarga de efluentes.

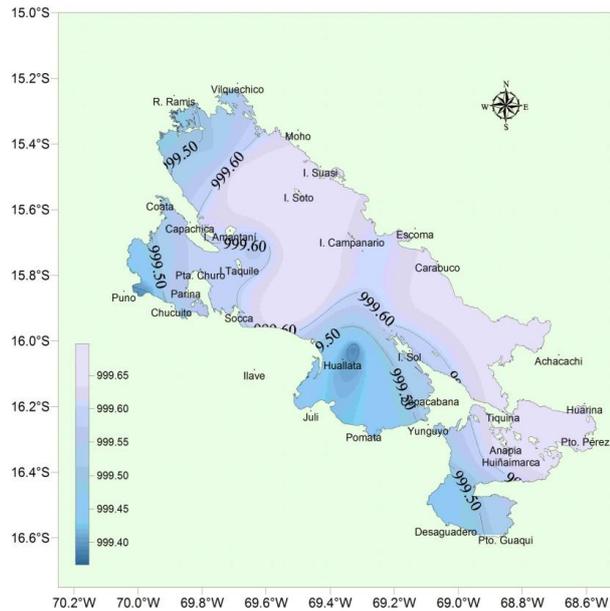


Figura 2.25.- Distribución de la densidad del agua (kg/m^3). Cr 1004. RIC IMARPE VIII

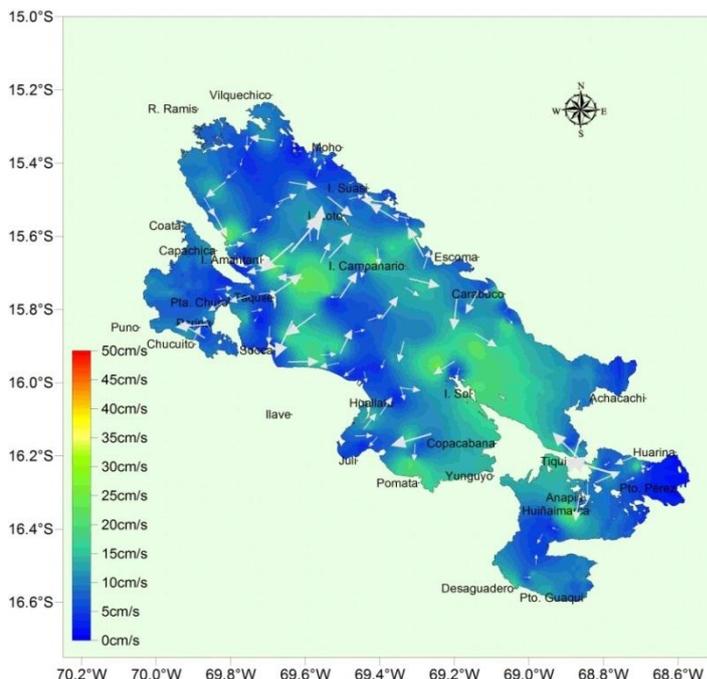


Figura 2.26.- Velocidad de las corrientes limnológicas (cm/s) en el estrato de 0 - 10 m. Cr 1004. RIC IMARPE VIII

Distribución de las corrientes lacustres integradas por capas

Estrato 0 - 10 m: La primera capa de 0 a 10 metros (Figura 2.26), presentó corrientes variables en la zona central del lago, principalmente frente a las islas Taquile, Amantani y Soto, observándose flujos de agua en sentido anticiclónico (antihorario). Las corrientes en los lados extremos del lago se mostraron con intensidades menores que la zona central con movimientos que siguieron la configuración de la línea de la ribera, desplazándose de norte a sur. Las zonas frente a Chucuito y Huarina evidenciaron un movimiento muy influenciado por el régimen de la topografía del fondo y del viento. Las

velocidades de las corrientes oscilaron entre 0,9 y 28,2 cm/seg.

Estrato 10 – 20 m: La capa entre 10 y 20 m (Figura 2.27), en la zona norte del lago, presentó características similares al estrato anterior, con giros anti-horarios (anticiclónicos) principalmente entre las islas Amantani y Soto. Flujos encontrados con movimientos contrarios se hallaron principalmente en los bordes costeros influenciados por la geomorfología de fondo y los vientos predominantes incrementando en algunos casos las velocidades (zona de mayor velocidad).

Las velocidades de las corrientes oscilaron entre 0,5 y 46 cm/seg.

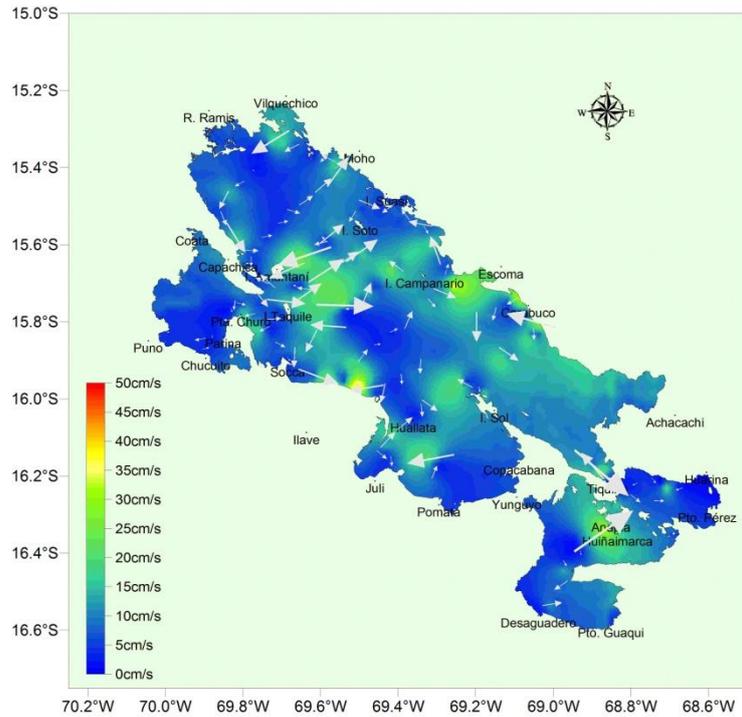


Figura 2.27. -Velocidad de las corrientes limnológicas (cm/s) en el estrato de 10 – 20 m. Cr 1004. BIC IMARPE VIII.

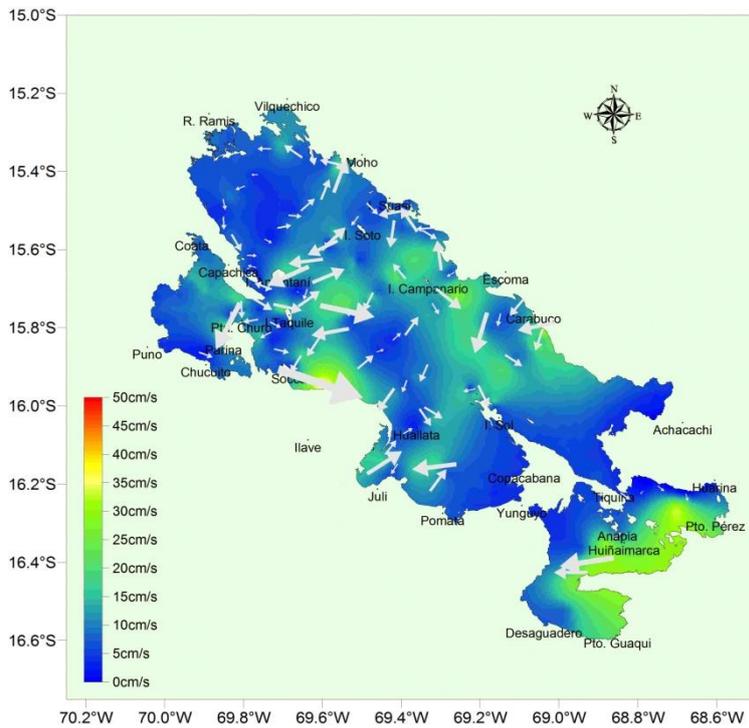


Figura 2.28.- Velocidad de las corrientes limnológicas (cm/s) en el estrato de 20 – 30 m. Cr 1004. BIC IMARPE VIII.

Estrato 20 – 30 m: En la Figura 2.28 observamos la capa de 20 a 30 m donde las corrientes elevan su intensidad principalmente en la zona central y el lado sur del lago con movimientos contrarios en áreas próximas, es el caso de movimientos ciclónicos entre las islas Amantani y Soto y movimientos anticiclónicos al sur de la isla Taquile. Las velocidades de las corrientes oscilaron entre 0,6 y 38,8 cm/seg. Con un promedio de 9,65 cm/seg.

Estrato 30 – 40 m: La capa de 30 a 40 metros (Figura. 2.29) presentó flujos menos intensos que la capa anterior, con algunos núcleos muy intensos y en lugares muy puntuales, principalmente en la zona central del lago. El área entre las islas Amantani y Soto mostró movimientos antihorarios (anticiclónicos) los mismos que han caracterizado a las capas anteriores. Las corrientes presentaron intensidades variables variando de 1,43 a 35,47 cm/s.

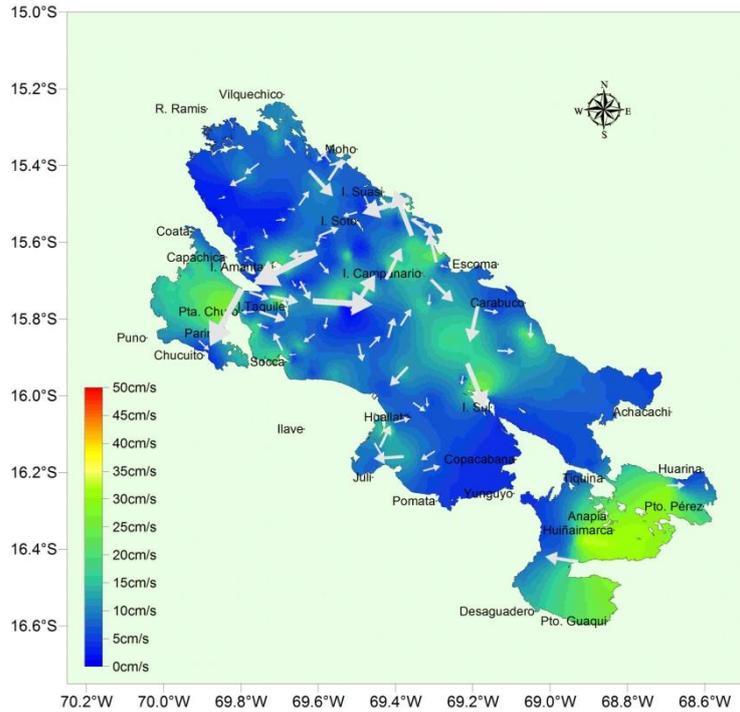


Figura.2.29. -Velocidad de las corrientes limnológicas (cm/s) en el estrato de 30 – 40 m. Cr 1004. BIC IMARPE VIII.

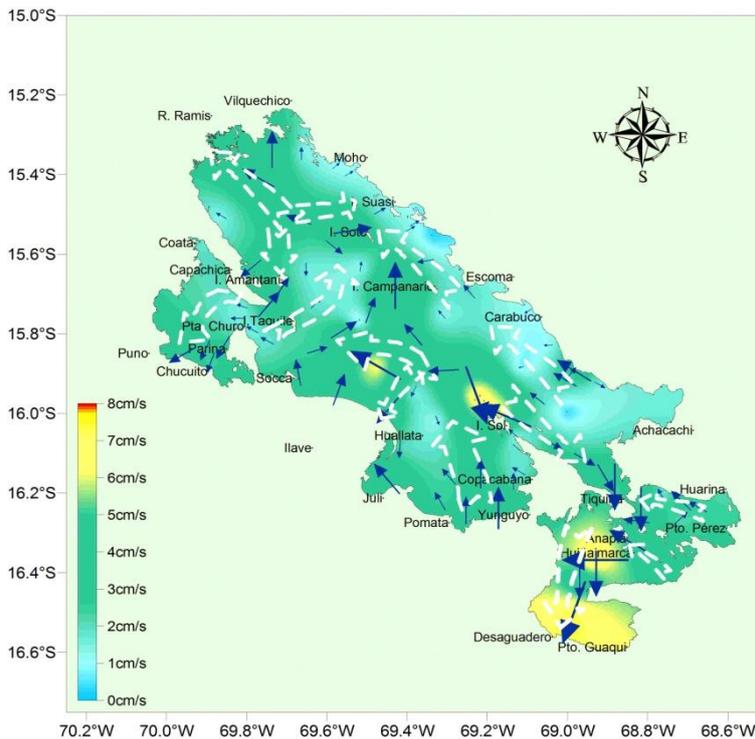


Figura. 2.30.- Velocidad y dirección de vientos en superficie (m/s). Cr 1004. BIC IMARPE VIII.

Velocidad y dirección del viento

Los vientos (Figura. 2.30) en superficie variaron de 0,2 y 7,5 m/s con promedio de 2,82 m/s, respecto a la dirección de los vientos, estos mostraron un predominio del NW en toda la zona del Lago Titicaca salvo la zona sur de Desaguadero, donde predominaron los vientos del SW. Vientos del SE se ubicaron frente a Copacabana y vientos de SW en Pilcuyo y Chucuito. Cabe resaltar que durante el día la dirección se comporta hacia NW pero cuando llega la tarde los vientos cambian a la dirección opuesta.

DISTRIBUCION, CONCENTRACION Y BIOMASA DE LOS PRINCIPALES RECURSOS PESQUEROS DEL LAGO TITICACA (CRUCEROS 1004 – 1107)

La extracción de recursos pesqueros en el Lago Titicaca está marcada por una constante actividad en toda la ribera del lago y durante todo el año. No obstante que se dispone del Reglamento de Ordenamiento Pesquero y Acuícola (D.S. No. 023-2008-PRODUCE), no es posible lograr que los pescadores acaten los períodos de veda a favor de la conservación de recursos pesqueros como el ispi (*Orestia ispi.*), carachi (*Orestia sp.*), mauri (*Trichomycterus sp.*) y pejerrey (*Basilichthys bonaeriensis*). Esto ha conllevado a que especies como la boga (*Orestias pentlandii*) y suche (*Trichomycterus rivulatus*), estén considerados como especies en extinción. Así mismo la trucha (*Onchorynchus mykiss*) se encuentra en una situación de riesgo y no es posible detectarse desde los cruceros del 2007.

El IMARPE a través del Laboratorio Continental de Puno, realizó cruceros de investigación multidisciplinarios con el objetivo de conocer la real situación de los recursos pesqueros del lago, mediante técnicas acústicas entre 2007 y 2011.

En el presente informe se alcanza los resultados del crucero Cr. 1004 (abril del 2010) y Cr. 1107 (julio 2011).



Figura 2.31.- Área evaluada en el Crucero hidroacústico 1004. Trayectos y lances realizados en el Lago Titicaca - Puno

MATERIAL Y METODOS

Se realizó dos cruceros de estimación hidroacústica de la biomasa de los principales recursos pesqueros en el Lago Titicaca, el primero realizado entre 14 y 30 de abril del 2010, y el segundo entre 07 y 27 de julio del 2011, a bordo del BIC IMARPE VIII.

El muestreo acústico se realizó a través de unos transectos sistemáticos paralelos y perpendiculares a la línea de costa con una longitud variable entre 15 y 22 millas náuticas y una separación promedio de 5 mn. El rastreo acústico fue continuo durante las 05:00 y 18:00 horas en promedio (Figura 2.31).

Para el muestreo acústico, también se consideró la navegación en las zonas de fondeadero, con la finalidad de obtener un mayor muestreo, sin repetir un doble muestreo del lugar. La unidad básica de muestreo (UBM) fue de 1 mn.

El sistema acústico de evaluación estuvo compuesto por una ecosonda científica portátil SIMRAD modelo EY60, transductor ES120-7 *split-beam* de 120 kHz de frecuencia. Fue calibrado (Tabla 2.1) siguiendo el procedimiento señalado por el fabricante (SIMRAD, 1991) y las recomendaciones efectuadas al respecto por el ICES (FOOTE ET AL., 1987). Este sistema permitió detectar los organismos y el fondo marino hasta

Tabla 2.1. Parámetros de calibración, ecosonda científica EY60

<i>Frecuencia</i>	120
<i>Esfera</i>	<i>cobre</i>
<i>Diametro de la esfera (mm)</i>	23
<i>Profundidad (m)</i>	22
<i>Transductor</i>	ES120-7
<i>Longitud del pulso transmitido (ms)</i>	0.512
<i>Potencia transmitida (W)</i>	500
<i>Coeficiente de absorción (dB/m)</i>	0.0044265
<i>Ganancia del transductor (dB)</i>	26.41
<i>Ancho de banda (m/s)</i>	WIDE
<i>Velocidad de sonido (m/s)</i>	1473
<i>Angulo 3dB (°)</i>	7.2°

*Lugar: frente a Chucuito-Lago exterior del lago.

una profundidad de 250 metros.

El análisis acústico fue realizado con el software de post procesamiento EchoView V4.7, que contiene los módulos de detección de cardúmenes y ecogramas virtuales. La discriminación de ecotrazos se efectuó de acuerdo a registros típicos y por los resultados de la composición por especie de las capturas o la información proveniente de la actividad extractiva.

La distribución espacial de cada recurso evaluado se visualiza en una carta de contorneos, donde se unen curvas que representan puntos de igual densidad y en forma estratificada. Esto permite ver de manera clara las áreas de mayor concentración de los recursos (SIMMONDS and MACLENNAN, 2005). Las cartas de distribución espacial de cada especie se confeccionó mediante el uso de los módulos de grillado y mapeo del programa Surfer (KLECKNER, 1996), y como método de interpolación se utilizó el kriging,

RESULTADOS

Distribución y Biomasa de las Especies Pelágicas

A continuación se presenta los resultados de la distribución y biomasa de los principales recursos pesqueros detectadas en el Lago Titicaca: ispi, carachi y pejerrey. La identificación de las áreas de distribución se presenta de la siguiente manera: muy dispersa (color verde), dispersa (color amarillo), denso (color rojo) y muy denso (negro) (Tabla 2.2).

Ispi (Orestias ispi)

El *Orestias ispi* de la familia de los ciprinodóntidos continua siendo la especie más abundante del Lago Titicaca, especialmente en la zona norte – centro, denominada Lago Mayor.

En general, el ispi presentó una distribución continua en todo el Lago Mayor ocupando un área de 1 375 mn² en el 2010 y de 1 310 mmm² en el 2011. Hacia el sur, (Lago Menor) el ispi presentó un área de distribución reducida y “dispersa”. En el Lago Mayor predominaron las áreas “muy densas y densas” ($S_A > 1000 \text{ m}^2/\text{mn}^2$), sobresalen la zona de Juli – Pomata, lado este de la Isla Luna, de igual forma en la Isla Amantani-Taquile y frente a Moho. Otras áreas “densas” se observaron al centro del Lago Mayor (Figura 2.32).

Verticalmente esta especie fue detectada en los años 2010 y 2011 hasta los 140 y 135 m de profundidad siendo el promedio de los cardúmenes entre 10 y 40 m (16 mil cardúmenes, 60% del total).

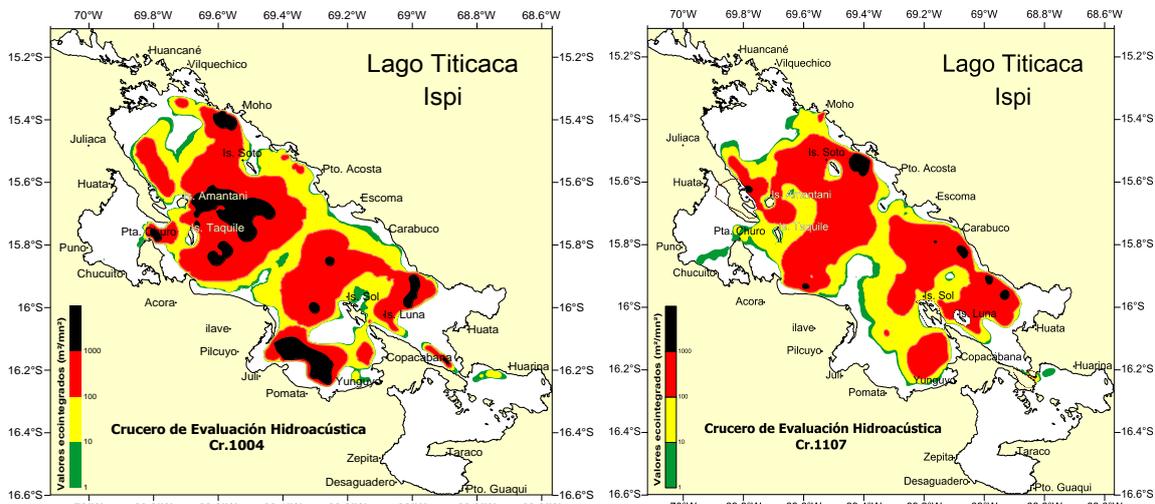


Figura .2.32.- Distribución y concentración del Ispi durante el crucero 1004 (izquierda) y Crucero 1107 (derecha).

La biomasa estimada para esta especie para el 2010 fue de 65 827 toneladas, con un límite de confianza de $\pm 6.5\%$, siendo la categoría “densa” la de mayor abundancia con 35 338 toneladas. Mientras que para el 2011 fue de 42 273 toneladas, con un límite de confianza de $\pm 13.21\%$, siendo la categoría “densa” la de mayor abundancia con 31 904 toneladas (Tabla 2.2).

Carachi

El carachi es una especie que generalmente se distribuye en la zona litoral del lago Titicaca y cerca del fondo, en el 2010 su extensión fue 354 mn^2 correspondiendo el 83% de este valor a las categorías “dispersa y muy dispersa” y destacaron algunos núcleos densos frente a Pomata, Acora, Isla Amantani, Puerto Acosta, Escoma y Carabuco. En el 2011 su extensión se calculó en 98 mn^2 distribuidos en algunos núcleos densos frente a Isla Amantani, Punta Churo, Acora, Escoma, Carabuco y Yunguyo (Figura 2.33).

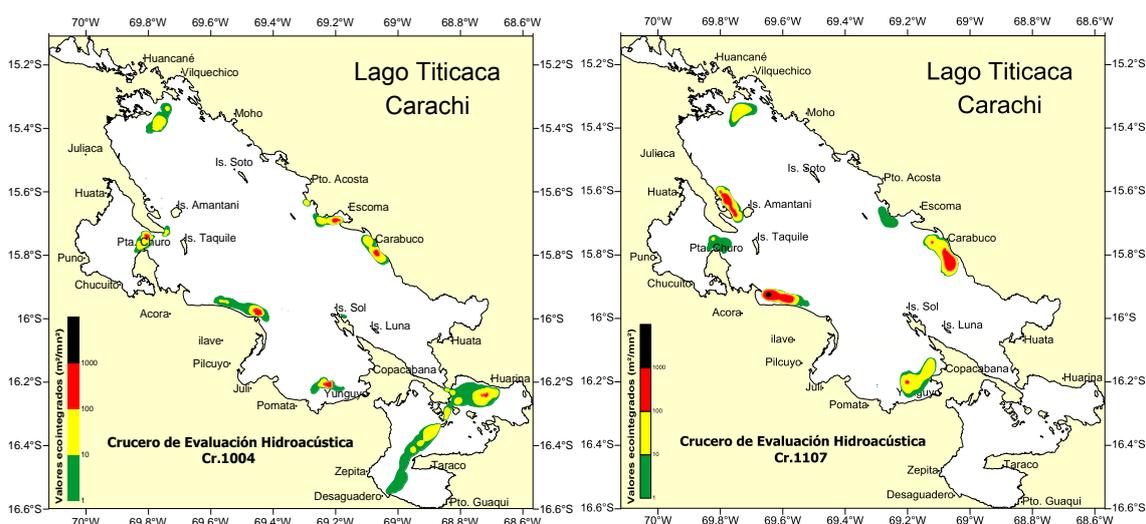


Fig.2.33.- Distribución y concentración del Carachi durante el crucero 1004 (izquierda) y Crucero 1107 (derecha).

Verticalmente esta especie para el 2010 fue detectada hasta los 40 m de profundidad con 1 789 cardúmenes detectados, y en el 2011 hasta los 45 m de profundidad, sin mostrar un comportamiento vertical con las horas diurnas ni nocturnas.

La biomasa para el 2010 se estimó en 3 171 toneladas, con un límite de confianza de $\pm 38\%$. La mayor biomasa correspondió a la categoría “densa” con 2 269 toneladas. En el 2011 de 2 715 toneladas, con un límite de confianza de $\pm 22.73\%$, siendo la mayor biomasa en la categoría “densa” con 1 993 toneladas (Tabla 2.2).

Pejerrey

En el 2010 el pejerrey se distribuyó en un área de 799 mn^2 , correspondiendo el 84% a las categorías “dispersas y muy dispersas”, ubicadas a lo largo de la zona abierta del Lago Mayor. Al norte de la misma, destaca una amplia zona de características “densas” entre Moho y la península de Capachica.

Para el 2011, el pejerrey se distribuyó en un área de 355 mn^2 , ubicadas a lo largo de la zona abierta del Lago Mayor. Al norte de la misma destaca una amplia zona de características “densas” entre Moho y la península de Capachica (Figura 2.34).

Verticalmente esta especie fue detectada entre 5 y 140 m de profundidad siendo el promedio de los cardúmenes entre 20 y 40 m (1 613 cardúmenes, 41% del total). Las mayores concentraciones se detectaron sobre los 60 m.

La biomasa estimada para el pejerrey para el 2010 fue de 8 491 toneladas, con un límite de confianza de $\pm 9.7\%$. La categoría “densa” tuvo la mayor abundancia con 5 172 toneladas. En el 2011 se estimó una

biomasa de 8 393 toneladas, con límite de confianza de $\pm 20\%$. La categoría “densa” tuvo la mayor abundancia con 6 649 toneladas (Tabla 2.2).

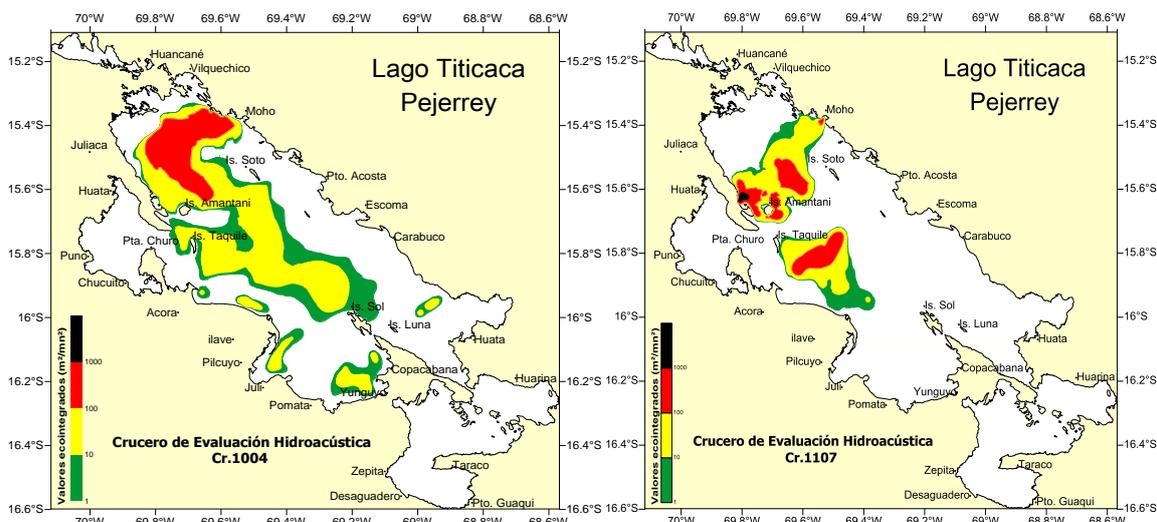


Fig.2.34.- Distribución y concentración del Pejerrey durante el crucero 1004 (izquierda) y Crucero 1107 (derecha).

Tabla 2.2. Biomasa (toneladas) de los recursos pesqueros detectados en los Cruceros 1004 y 1107 en el Lago Titicaca.

CATEGORIA DE ABUNDANCIA	Ispi		Carachi		Pejerrey		
	2010	2011	2010	2011	2010	2011	
Muy dispersa	1 a 10 m ² /mn ²	40	34	135	49	332	77
Dispersa	10 a 100 m ² /mn ²	2 715	2 445	767	673	2 987	1 667
Densa	100 a 1000 m ² /mn ²	35 337	31 904	2 269	1 993	5 172	6 649
Muy densa	> 1000 m ² /mn ²	27 735	7 890				
Total (t)		65 827	42 273	3 171	2 715	8 491	8 393

ANALISIS DE LOS RECURSOS PESQUEROS Y ALGUNAS VARIABLES LIMNOLÓGICAS

Tal como se puede apreciar en la Figura 2.35, el ispi presenta un comportamiento pelágico. Sus mayores concentraciones se detectaron hasta 50 m de profundidad y un rango hasta 200m, preferentemente entre 2 y 13 mn de distancia de la ribera del lago. Entre Juli y Moho, se le detectó en agregaciones dispersas. Prácticamente estuvo ausente en la zona litoral.

El carachi, otra de las especies nativas, fue detectado en mayor concentración cerca del fondo entre 30 y 40 m y en áreas cercanas al litoral desde los 0,5 a 3,5 mn, no se reporta concentraciones por fuera de las 5 millas náuticas del litoral. Esta especie al igual que el ispi fue detectada en mayor concentración desde Juli a Moho.

El pejerrey (especie introducida) se encontró compartiendo las mismas áreas de distribución que el ispi, es decir, presenta un comportamiento pelágico. Fue detectado en profundidades que variaron de 60 a 200 m y de 2 a 10 mn de distancia de la ribera. Las mayores concentraciones de cardúmenes de esta especie fueron detectadas en la parte central del Lago Mayor y especialmente en la zona norte desde la isla Amantani – Moho – Ramis.

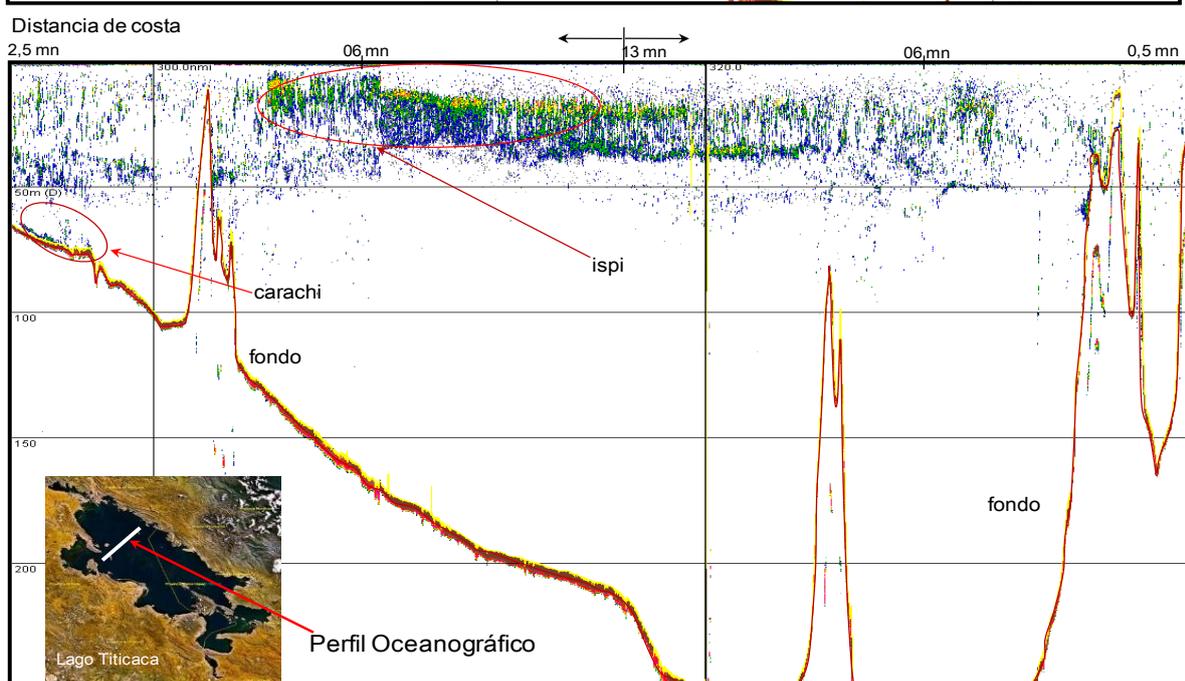
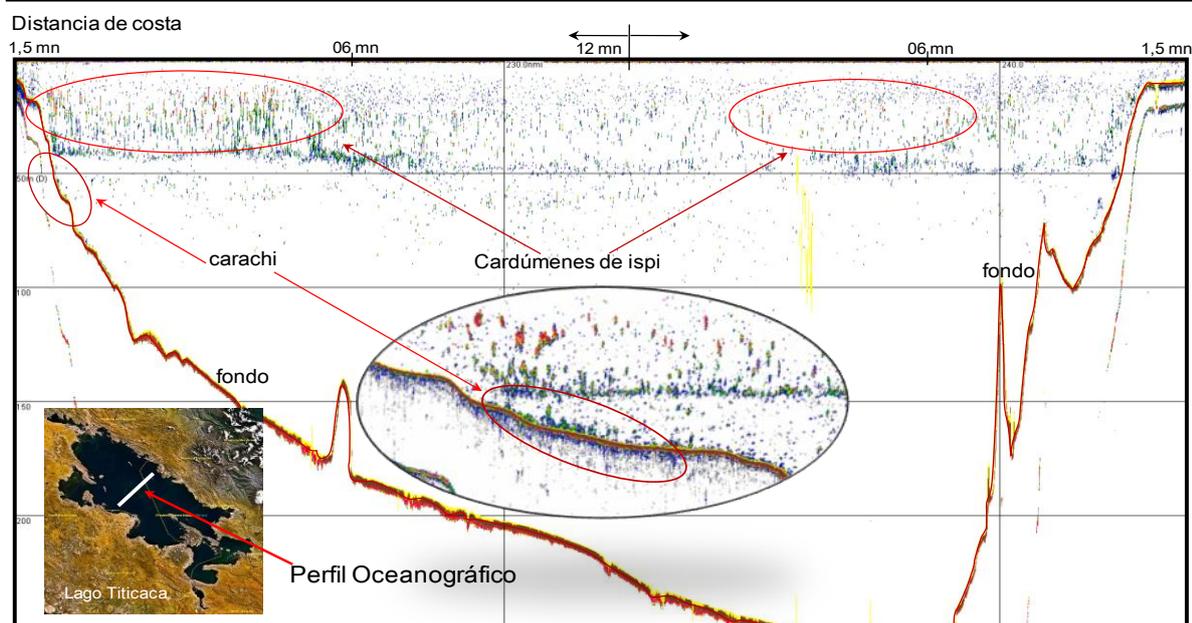
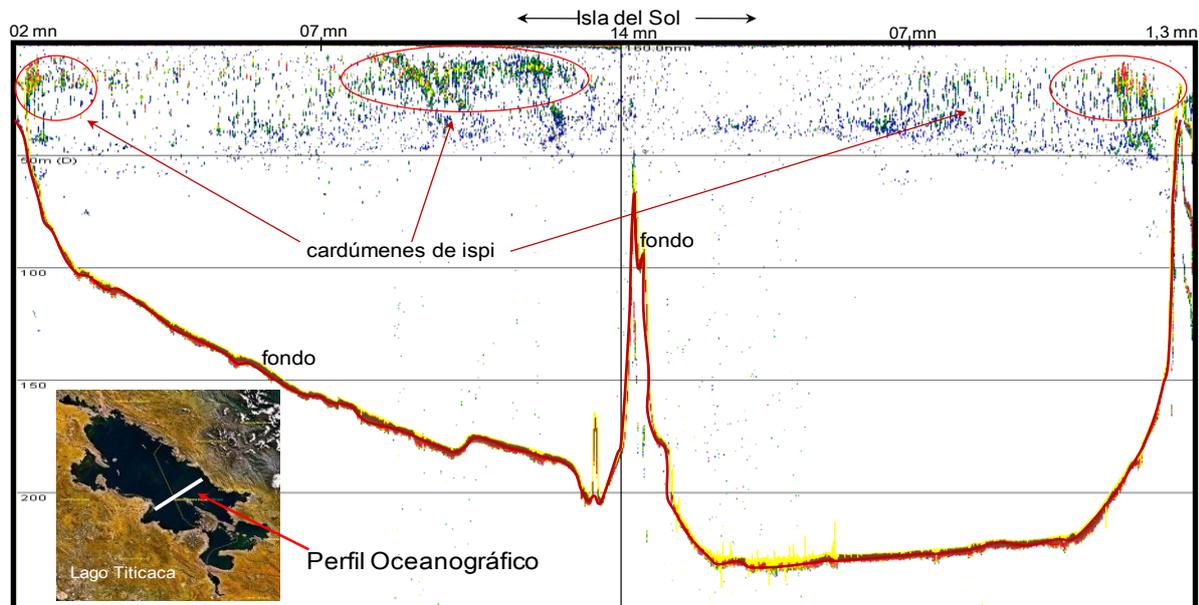


Figura 2.35.- Distribución de los recursos pesqueros detectados en tres secciones limnológicas del Lago Mayor en el Lago Titicaca - Puno 2010.

DISCUSION

La especie más abundante en el lago Titicaca continúa siendo el ispi, seguido del pejerrey y carachi. En los últimos 6 años, el ispi ha mantenido su nivel de abundancia, tal como se manifiesta en este crucero (abril del 2010), donde su abundancia fue superior en 15 mil toneladas al del 2008. Sin embargo en el 2011 se observa una disminución significativa de 23 mil toneladas respecto al 2010 porque el recurso se encontró en pleno proceso de reproducción, época cuando se acerca a la zona litoral, lo cual fue aprovechado por los acuicultores (criadores de trucha) para pescarlo. El carachi cuya distribución está en la zona litoral del lago, presenta marcada disminución en su abundancia, comparado con el 2010 disminuye entre 475 t. Esto debido a que la especie se encuentra sometida a una presión por pesca durante todo el año y es vulnerable a la red de enmalle. El pejerrey casi ha conservado sus niveles de abundancia durante los tres últimos cruceros, debido a su capacidad de desplazamiento y migración que no lo hace tan vulnerable a las artes de pesca actualmente en uso (Figura 2.36).

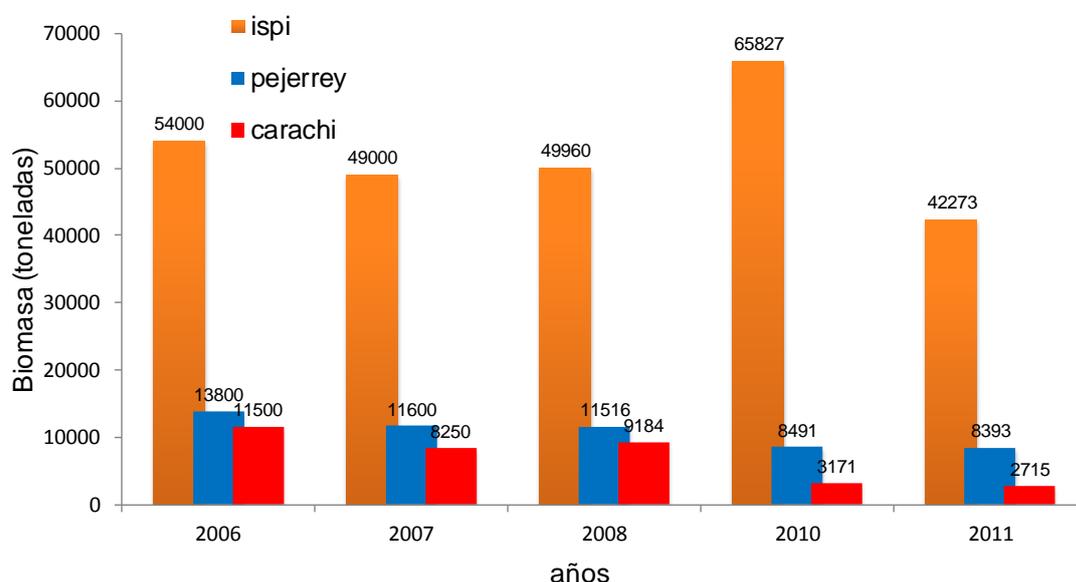


Figura 2.36.- Biomasa del ispi, carachi y pejerrey calculadas usando técnicas acústica entre el 2006 y 2011.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA. 1992. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales, 17 Edición. Editores Díaz de Santos S.A. Madrid. 1816 pp.

Brönmark C, Hansson L. 2005. The biology of lakes and ponds, 2nd ed. United State: Oxford University Press Inc., New York. 285 pp.

Domenèch X, Peral J. 2006. Química ambiental de sistemas terrestres. Editorial Reverté S. A. Barcelona. 210 pp.

Foote, K. H. Knutsen, G.Vestnes, D.MacLennan and J.Simmonds. 1987. Calibration of acoustic instruments for fish density estimation: a practical guide. (Cooperative Research Report. ICES No.144.

Fuentes F, Massol-Deyá A. 2002. Manual de laboratorio: ecología de microorganismos. Universidad de Puerto Rico.

Ittis A., Carmouze, J. P., Lemoalle, J. 1991. Características físico-químicas del agua. En: Dejoux, C. & A. Ittis (eds.), El Lago Titicaca: síntesis del conocimiento limnológico actual. La Paz: Hisbol - ORSTOM. 584 pp.

Laevastu T, (1980). Manual de Métodos de Biología Pesquera. Zaragoza España: Acribia.

Margalef R. 1983. Limnología. Ediciones Omega S. A. Barcelona. 1009 pp

Ramos O R, Sepúlveda M R, Villalobos M F. 2003. El agua en el medio ambiente: muestreo y análisis. Plaza y Valdez editores S.A. México. 210 pp.

Roche M A, Bourges J, Cortes J, Mattos R. 1991. Climatología e hidrología de la cuenca del Lago Titicaca. En: Dejoux, C. & A. Ittis (eds.), El Lago Titicaca: síntesis del conocimiento limnológico actual. La Paz: Hisbol - ORSTOM. 584 pp.

Rivoirard, J; Simmonds, J; Foote, K G; Fernandes, P; Bez, N. 2000. Geostatistics for estimating fish Abundance. Blackwell Science.

Rodríguez, G. M. (1992). Técnicas de Evaluación Cuantitativa de la Madurez Gonádica en Peces. México. Foote, K. H. Knutsen, G. Vestnes, D. MacLennan and J. Simmonds. 1987. Calibration of acoustic instruments for fish density estimation: a practical guide. (Cooperative Research Report. ICES No.144.

Rodríguez M J, Marín G R. 1999. Fisicoquímica de aguas. Ediciones Días Santos S.A. Madrid – España. 488 pp.

Roldán P G A, Ramírez R J J. 2008. Fundamentos de limnología neotropical, 2da edición. Imprenta Universidad de Antioquia. Colombia. 440 pp

Simmonds J. and MacLennan D. 2005. Fisheries Acoustics. Theory and Practice. Second edition published by Blackwell Science 2005. Pag. 436.

Simrad EY60. 2009. Instruction manual simrad EY60 scientific echo sounder. p2172e. Calibration of the EY60 p2260e. Simrad Norge as. Norway.

Sánchez O. 2007. Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. Instituto Nacional de Ecología. México. 293 pp.

Wetzel R G, 1981. Limnología. Ediciones Omega S. A. Barcelona. 605 pp.

MEJORA DEL RENDIMIENTO DE LA PESCA ARTESANAL

Componente 2B

CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA DE LA ZONA LITORAL DEL LAGO TITICACA EN AREAS SELECCIONADOS

Puno, Diciembre del 2011

CONDICIONES LIMNOLÓGICAS EN LA ZONA LITORAL DEL LAGO TITICACA EN AREAS SELECCIONADOS

RESUMEN

Se realizaron evaluaciones de carácter limnológico para estudios de la calidad acuática, durante el Crucero de Caracterización ecológica de la zona litoral del lago Titicaca en áreas seleccionadas, a bordo del BIC IMARPE VIII, diferenciándose 04 áreas de evaluación: Puno – Chucuito (A), península Capachica – Amantani (B), Ramis – Moho (C) y Juli – Pomata (D). En general, la temperatura superficial fluctuó entre 12,8°C (Ramis) y 17,8°C (bahía de Puno), con concentraciones de oxígeno disuelto (OD) de 2,72 mg/L (~ 100 m) (Ramis) a 8,48 mg/L (bahía de Puno) (superficie). Baja transparencia del agua se determinó en la desembocadura del río Ramis (0,5 m) y la máxima transparencia se determinó en Moho y Capachica (12 m). Los valores de pH, variaron entre 8,06 (Capachica a 100 m) y 8,99 en superficie (bahía de Puno). Los nutrientes presentaron los valores más bajos en la zona de Capachica y los más elevados se encuentran en la bahía de Puno.

INTRODUCCIÓN

La calidad del agua en el lago Titicaca se encuentra relacionada principalmente a su composición, en la medida en que ésta es afectada por la concentración de sustancias ya sean tóxicas y/o producidas por procesos naturales, además la calidad del agua se constituye como factor muy determinante para la conservación de los recursos bióticos del lago Titicaca, además es importante para la persistencia del medio ambiente acuático y para el desarrollo de actividades de la pesca y acuicultura.

Considerando esta información y con la finalidad de tener una información actualizada sobre la calidad del agua en el lago Titicaca, en el marco del Proyecto PROPECSA, se realizó un crucero de caracterización ecológica en zonas litorales y seleccionadas del lago Titicaca.

El informe que a continuación se alcanza, muestra los resultados de las actividades de investigación, realizadas durante el crucero realizado entre el 03 al 14 de abril del 2011 a bordo del BIC IMARPE VIII.

MATERIALES Y METODOS

Áreas seleccionadas

El criterio de selección de los puntos de muestreo (97 estaciones) estuvo vinculado a las zonas potenciales de pesca y acuicultura, así como a los trabajos realizados durante el crucero ecológico del año 2009.

Muestras y análisis

Estuvo dirigido al monitoreo de los siguientes parámetros y toma de muestras:

- Temperatura del agua (mediante uso de medidor multiparámetro).
- Oxígeno disuelto (método Winkler).
- pH (lectura directa desde pHmetro digital).
- Nutrientes (técnica y modificaciones de Strickland y Parson).
- Sólidos suspendidos (método gravimétrico).
- Conductividad (mediante uso de conductímetro).
- Salinidad (mediante uso de medidor multiparámetro).

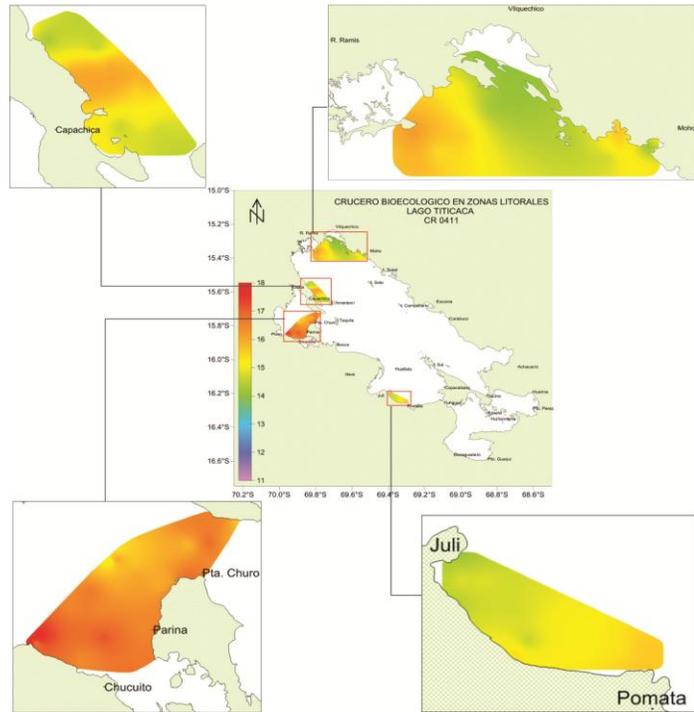
Las muestras colectadas fueron debidamente preservadas hasta los análisis respectivos.

RESULTADOS

Parámetros abióticos

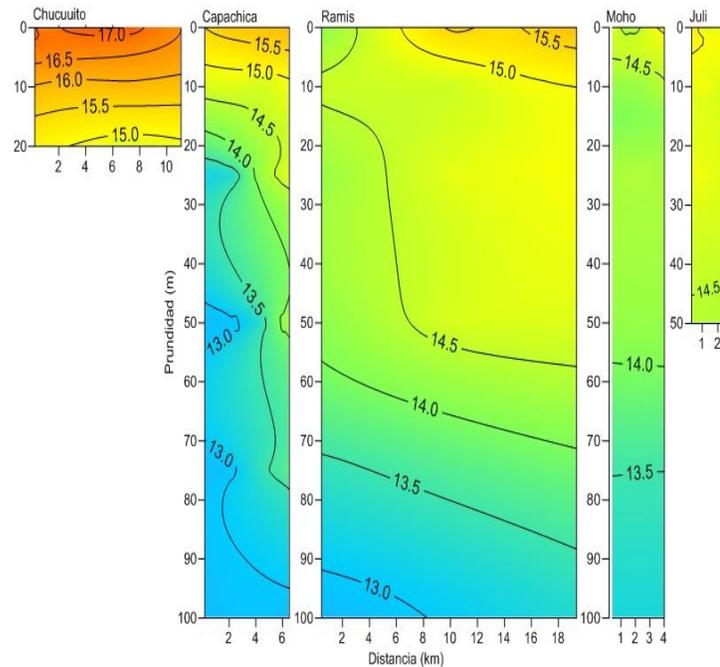
Temperatura del lago

La temperatura a nivel superficial en las zonas evaluadas registró valores que fluctuaron entre 13,9 °C (Ramis) y 17,8 °C (Bahía de Puno), con un promedio de 15,5 °C. Los valores para la zona de Bahía de Puno oscilaron de 15 °C a 17,8 °C con un promedio de 16,4 °C, para Península de Capachica varió entre 14,3 °C y 16,0 °C con una media de 15,1 °C, en Ramis-Moho los valores estuvieron de 13,9 °C a 16,2 °C, con un promedio de 15,0 °C y en Juli-Pomata los valores fluctuaron entre 14,1 °C y 15,6 °C con una media de 15,0 °C. Las fluctuaciones de la temperatura superficial del lago son influenciadas por el horario de muestreo de cada estación y las condiciones morfobatimétricas.



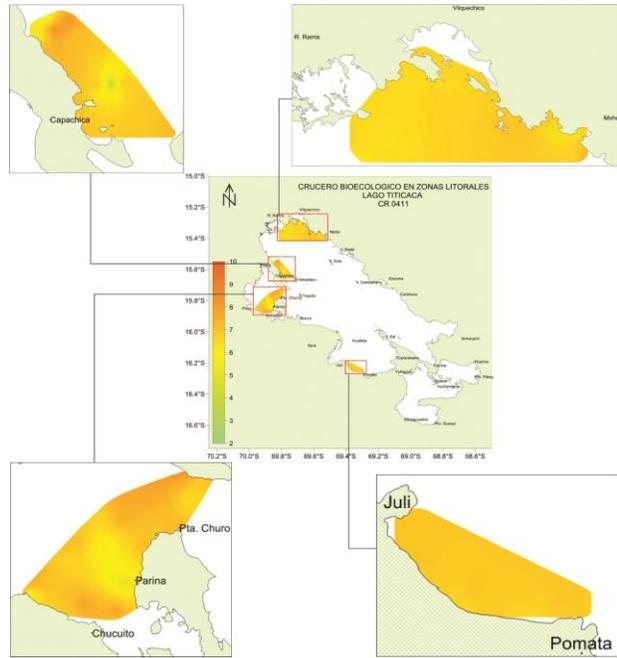
A nivel vertical se observó una columna de agua estratificada, que varía en cuando a su contenido calórico según la zona del lago.

En la zona de Bahía de Puno la variación térmica superficie/fondo fue de 2,0 °C, presentando los mayores registros de temperatura, que estarían explicados por la poca profundidad de la zona (~25 m). Mientras que en la zona de Ramis se registra la predominancia de la isoterma de 14,5 °C hasta los 50 m de profundidad. Para Moho la isoterma de los 14 °C se hunde hasta los 55 m de la columna de agua. En el caso de la zona de Capachica sobresale la isoterma de los 13 °C. Para la zona de Juli-Pomata solo se registra dos isotermas.

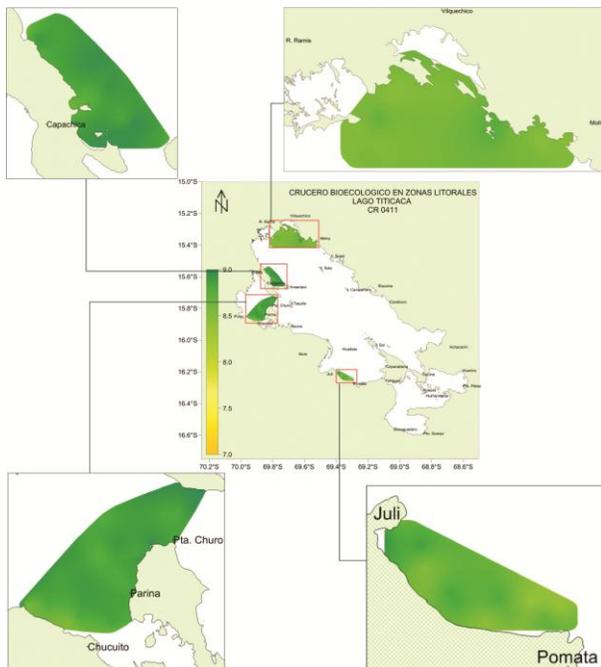
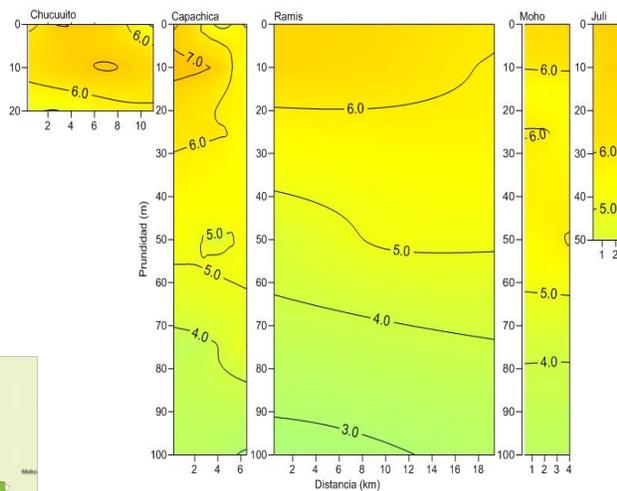


Concentración de oxígeno disuelto

Las concentraciones de oxígeno disuelto en las zonas evaluadas fluctuaron entre 4,2 mg/L (Capachica) y 8,5 mg/L (Bahía de Puno-Chucuito), con un valor promedio de 6,8 mg/L. En Capachica los valores de O_2 fluctuaron entre 4,8 y 8,5 mg/L con un promedio de 6,9 mg/L, mientras que en Juli-Pomata osciló entre 6,4 y 7,0 mg/L con un promedio de 6,9 mg/L, en Moho-Ramis los valores registrados estuvieron entre 6,1 y 7,4 mg/L con un promedio de 6,6 mg/L.



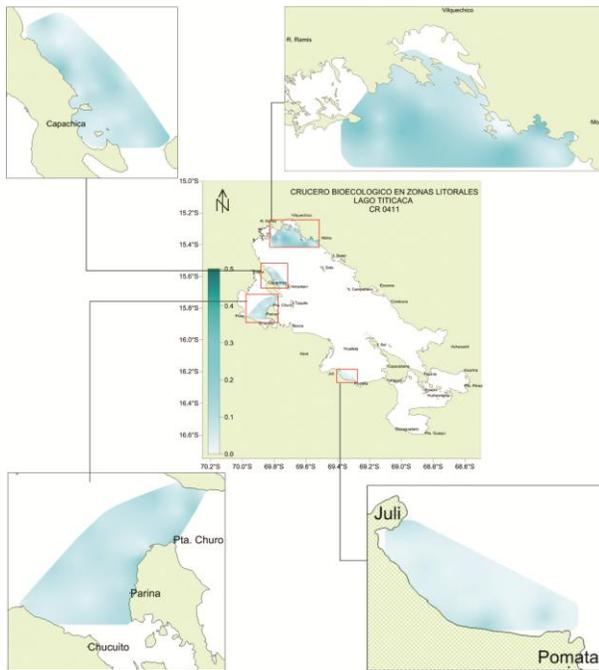
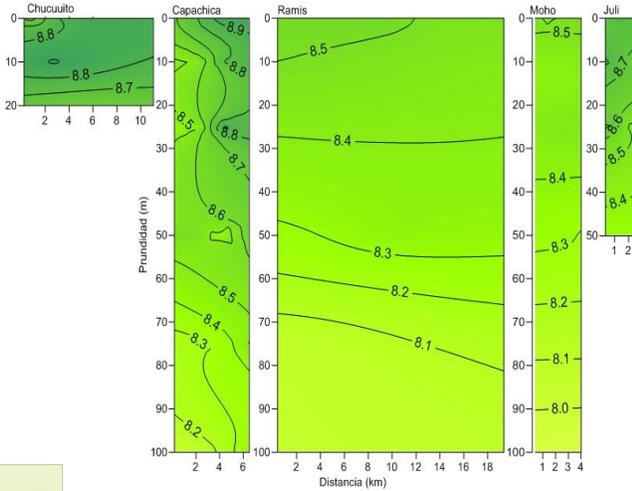
Se determina una estratificación del oxígeno, con valores máximos a nivel superficial (6,7 mg/L) y mínimos a los 100 m (3 mg/L). En la Bahía de Puno en la capa profunda (<20 m) llega hasta 4 mg/L. Para las zonas de Capachica, Ramis, Moho y Juli el descenso del oxígeno en la columna es muy similar, con un valor mínimo de 1,9 a 2,3 mg/L a los 100 m.



Niveles de pH

Los niveles de pH variaron de 8,4 (Juli-Pomata) a 8,9 (Bahía de Puno) con un promedio de 8,7. Los valores para cada una de las zonas fueron de: Bahía de Puno osciló de 8,5 y 9,0 con un promedio de 8,8; Capachica fluctuó de 8,6 a 9,0 con un promedio de 8,9; Ramis-Moho 8,5 a 8,8 con un promedio de 8,6; y Juli-Pomata 8,4 a 8,9 con un promedio de 8,7.

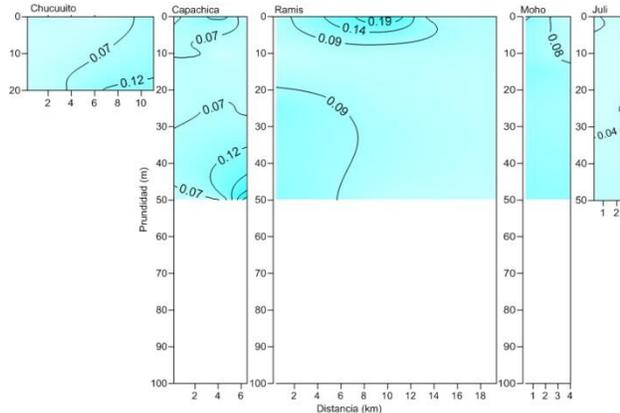
A nivel de la columna de agua, se observa valores máximos en la superficie y mínimos en la capa profunda (100 m). Para la Bahía de Puno la variación de pH superficie/fondo es de 0,2. Mientras que en las zonas de Capachica, Ramis y Moho la variación entre superficie y fondo (100 m) es marcada entre 0,5 y 0,6.



Niveles de Nitratos

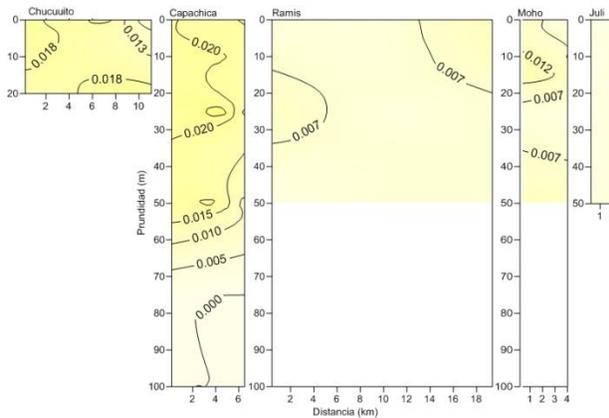
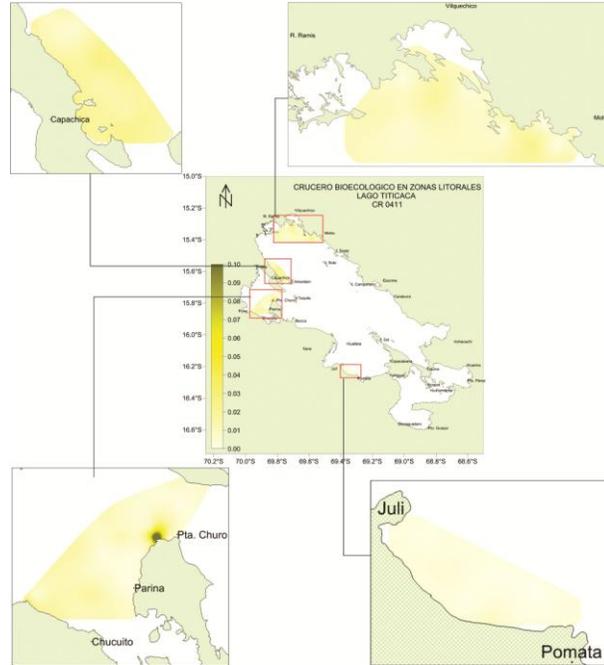
Las concentraciones de nitratos oscilaron de 0,0069 mg/L (Capachica) a 0,2772 mg/L (Moho-Ramis). Los valores para la bahía de Puno fluctuaron entre 0,019 y 0,203 mg/L con un promedio de 0,079 mg/L; en Ramis-Moho los valores obtenidos fueron de 0,009 a 0,277 mg/L con un promedio de 0,110 mg/L y en Juli-Pomata los valores oscilaron entre 0,018 y 0,138 mg/L con un promedio de 0,038 mg/L.

En general se observa que los nitratos incrementan su concentración a medida que aumenta la profundidad, con algunas excepciones en la zona de Ramis y Moho, donde presentan valores altos a nivel superficial.



Niveles de Nitritos

Con un valor máximo de nitritos de 0,027 (Capachica) y con un promedio general de 0,010 mg/L. Los valores para cada una de las zonas fueron de: Bahía de Puno osciló de 0a0.0229mg/L con un promedio de 0,01 mg/L; en Capachica varió de 0,004 a0,03 mg/L con un promedio de 0,02 mg/L; Ramis–Moho entre 0 y 0,023 mg/L con una media de 0,01 mg/L y Juli–Pomata varió de 0 a 0,0086 mg/L con un promedio de 0,002 mg/L.

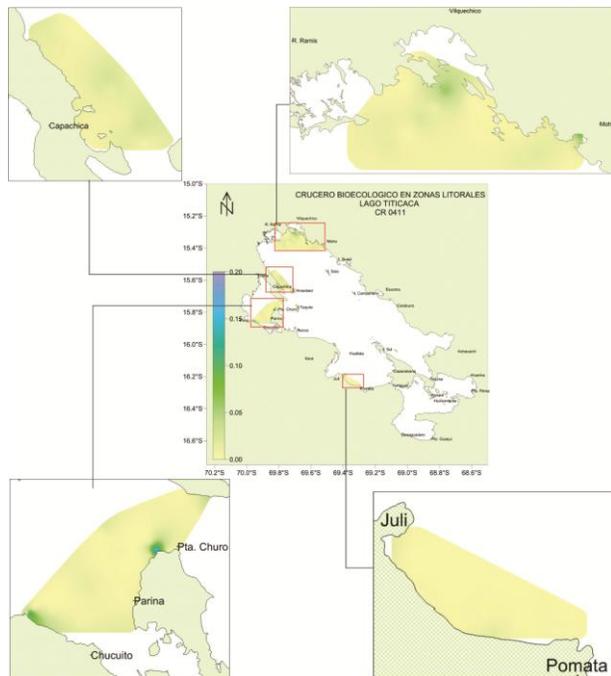


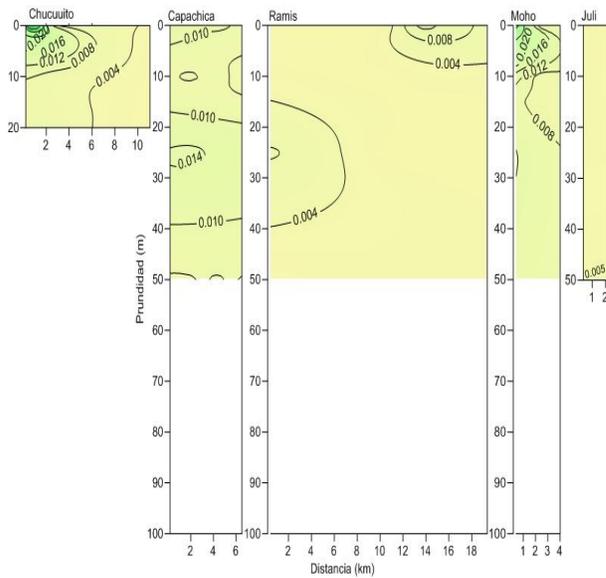
Para la Bahía de Puno los valores de nitritos aumentan con la profundidad, siendo a nivel superficial de 0,013 mg/L y en el fondo de 0,018 mg/L. Similar tendencia se observa para la zona de Capachica siendo para la superficie y fondo (25 m) entre 0,017 y 0,021 mg/L, respectivamente; para luego disminuir a los 50 m a 0,016 mg/L. Para la zona de Ramis la concentración de NO_2 disminuye con la profundidad siendo esta a nivel superficial de 0,010 mg/L y en el fondo (50 m) de 0,004 mg/L.

Niveles de fosfato

La concentración de fosfatos en las cuatro zonas seleccionadas fluctuó entre cero (Bahía de Puno y Juli–Pomata) y 0,172 mg/L (Bahía de Puno) con un promedio general de 0,011 mg/L.

La bahía de Puno presenta las máximas concentraciones (0,172 mg/L) con una media de 0,02 mg/L; la zona de Ramis-Moho fluctuó entre 0,01 y 0,071 mg/L con un promedio de 0,01 mg/L. Para Capachica varió de 0,01 a 0,03 mg/L y un promedio de 0,01 mg/L, y finalmente Juli-Pomata entre 0 y 0,017 mg/L y con una media 0,04 mg/L.

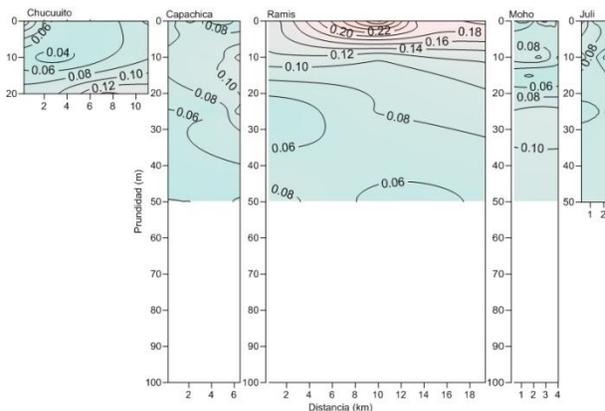
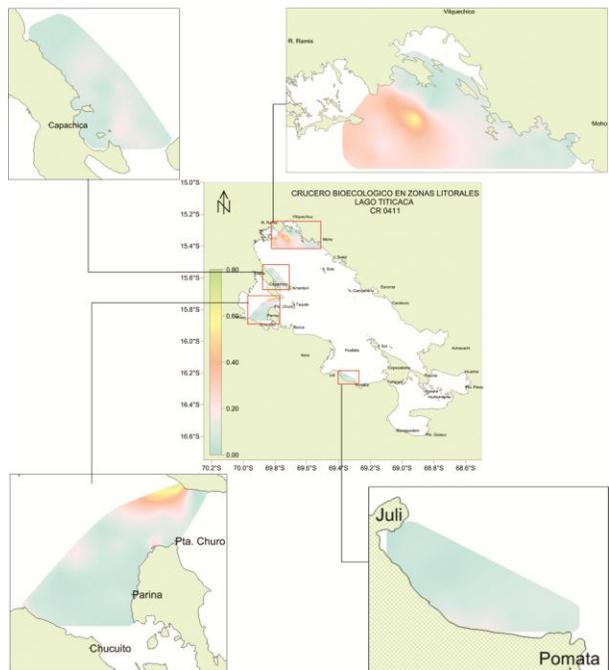




A nivel general se observa una disminución de fósforo con respecto al incremento de la profundidad. Para la Bahía de Puno (~ 25 m) se determinó a nivel superficial y fondo fósforo entre 0,017 y 0,005 mg/L; mientras que en el lago Grande, en la zona Capachica, a nivel superficial se determinó en 0,012 mg/l y a los 50 m de 0,007 mg/L. Para la zona Moho y Juli-Pomata se determinó una disminución hasta los 15 m, para luego a los 25 m incrementarse, y seguido de una disminución a los 50 m.

Silicatos

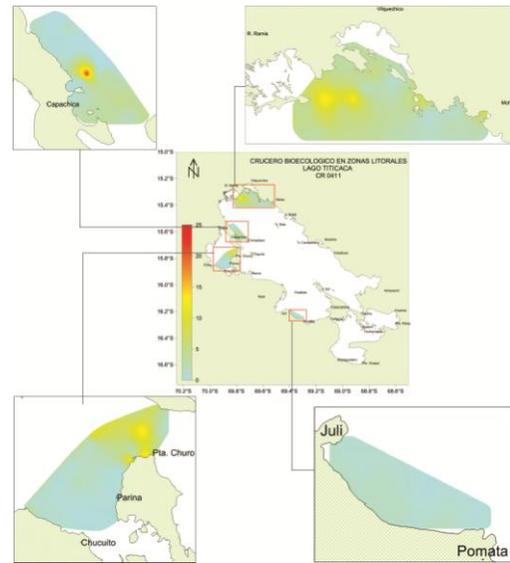
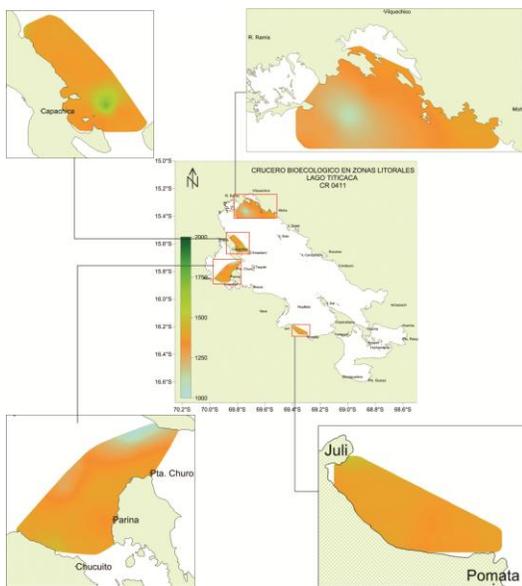
Los valores de silicatos fluctuaron entre 0,011 (Juli-Pomata) y 0,754 mg/L (Bahía de Puno) con un promedio de 0,111 mg/L. En Bahía de Puno, los valores obtenidos estuvieron entre 0,014 y 0,754 mg/L con un promedio de 0,117 mg/L, en Capachica con valores fluctuaron de 0,035 a 0,186 mg/L con un promedio de 0,080 mg/L, en Ramis-Moho los valores estuvieron entre 0,026 y 0,608 mg/L con una media de 0,164 mg/L y en Juli-Pomata los valores estuvieron entre 0,011 y 0,162 mg/L con un promedio de 0,070 mg/L.



Para la zona de Bahía, la concentración de silicatos disminuye desde el fondo hacia la superficie y para la Zona de Ramis se presenta de forma inversa. Mientras que para las zonas de Capachica, Moho y Juli-Pomata su distribución es homogénea en la columna de agua.

Sólidos suspendidos totales (SST)

Sólidos suspendidos totales a nivel superficial en las cuatro zonas evaluadas fluctuaron entre 0 y 15,33 mg/L, con un promedio de 2,7 mg/L. En la zona de Bahía de Puno los valores estuvieron entre 0,33 mg/L y 15,33 mg/L con un promedio de 3,25 mg/L, en Moho-Ramis 0,33 mg/L y 14 mg/L con un promedio de 4,27 mg/L, en Juli-Pomata los valores fluctuaron entre 0,33 y 2,33 mg/L con un promedio de 1,19 mg/L. Para Capachica se determinó entre 0 y 4,7 mg/L y una media de 1,54 mg/L.

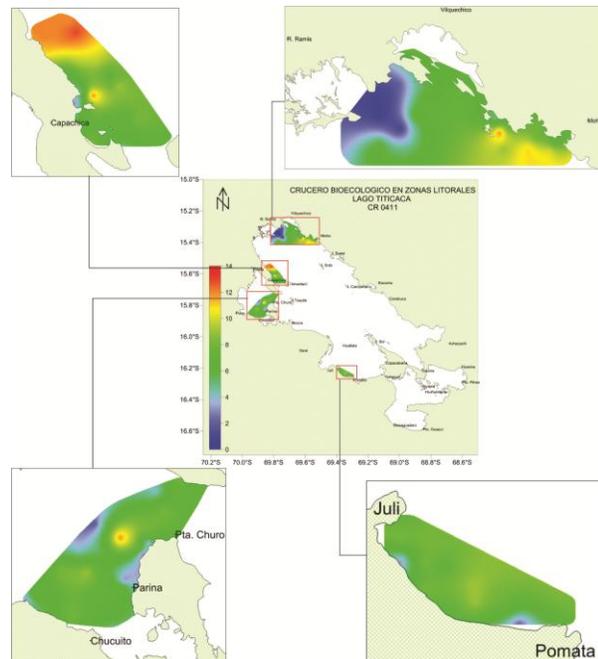


Conductividad eléctrica

Los valores de conductividad a nivel superficial fluctuaron de 1024 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (Bahía de Puno) a 1502 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (Juli-Pomata) con un promedio de 1363 $\mu\text{s}/\text{cm}$. En Bahía de Puno los valores estuvieron entre 1024 y 1466 $\mu\text{s}/\text{cm}$ con un promedio de 1336 $\mu\text{s}/\text{cm}$, en Capachica los valores fluctuaron entre 1352 y 1470 $\mu\text{s}/\text{cm}$ con un promedio de 1382 $\mu\text{s}/\text{cm}$, en la zona de Moho-Ramis los valores estuvieron entre 1082 y 1398 $\mu\text{s}/\text{cm}$ con un promedio de 1323 $\mu\text{s}/\text{cm}$, y para Juli-Pomata la fluctuación de valores estuvo entre 1344 y 1502 $\mu\text{s}/\text{cm}$ con un promedio 1384 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Transparencia

Estos valores fluctuaron entre una mínima de 0,5 m (Ramis-Moho) y una máxima de 13 m (Capachica) con un promedio de 7,3 m. Para cada zona los valores fueron de 2 a 12 m con un promedio de 6,6 m en Bahía de Puno; y entre 3 y 13 m en Capachica con un promedio de 8,9 m; para Ramis-Moho entre 0,5 y 12 m con un promedio de 6,4 m y en la zona de Juli-Pomata los valores fluctuaron entre 2 y 9 m con un promedio de 7,2 m.



Parámetros biológicos

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅). El valor más elevado de DBO₅ (20,0 mg/L) se registró en la desembocadura del río Ramis (Tabla 2.1), sin embargo esta concentración disminuye conforme las aguas se mezclan con el Titicaca, alcanzando concentraciones mínimas de hasta 8,0 mg/L, siendo conjuntamente con la concentración registrada en Moho (7,0 mg/L) las más bajas encontradas. La concentración de DBO₅ en todas las estaciones de muestreo superan los estándares de calidad ambiental para agua (ECA) para la categoría 4: Conservación del ambiente acuático (Figura 2.1).

Tabla 2.1.- Concentración de DBO₅ y Coliformes durante el crucero de caracterización bioecológica y de la contaminación de la zona litoral del lago Titicaca, en áreas seleccionadas, abril 2011

DETERMINACION DE DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO Y COLIFORMES - CRUCERO LITORAL DEL LAGO TITICACA 2011						
FECHA	ZONA	HORA (24 H.)	PROF. Metros	D.B.O. (s) mg/L	Coli. Totales UFC/100ml	Coli. Termotolerantes UFC/100 ml
04/04/2011	Barco (Jaulas Produccion)	11:30	0	11.50	No Muestra	No Muestra
04/04/2011	UNA (Jaulas)	11:59	0	10.00	No Muestra	No Muestra
04/04/2011	Ojerany	13:00	0	13.60	0	0
06/04/2011	Capachica	11:40	0	15.00	0	0
		11:40	20	13.50	10	15
07/04/2011	Moho	09:50	0	14.50	280	20
		09:50	10	7.00	870	65
08/04/2011	Desembocadura Rio Ramis	10:10	0	8.00	350	120
		10:20	5	14.00	430	240
	Desemb. Mas prox. A Rios Ramis	11:15	0	20.00	240	90
		12:30	0	8.00	290	70
13/04/2011	Desemb. Rio Ramis Tendido Redes	15	10.00	250	95	
		07:50	0	12.70	No Muestra	No Muestra
	Chocasuyo	08:57	0	14.70	No Muestra	No Muestra
		Molino	10:30	0	10.00	No Muestra
10:50	0		13.90	No Muestra	No Muestra	

D.B.O. (5)

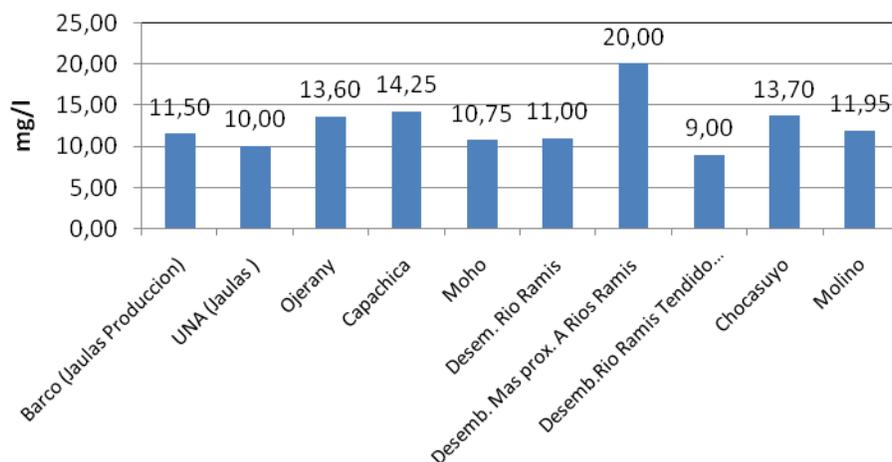


Fig. 2.1.- Concentración de DBO₅ durante el crucero de caracterización ecológica y de la contaminación de la zona litoral del lago Titicaca, en áreas seleccionadas, abril 2011.

Coliformes Totales. Para analizar la presencia de Coliformes totales, se procedió a obtener la mediana por lugar de muestreo. Los resultados obtenidos mostraron valores de coliformes totales elevados, que superan los estándares internacionales (EPA) recomendados para consumo humano (Figura 2.2). A excepción de las estaciones ubicadas en Ojerani (Puno), que según los resultados se encuentran aptas para consumo humano. El resto de lugares de muestreo solo pueden ser considerados como zonas de recreación para contacto primario.

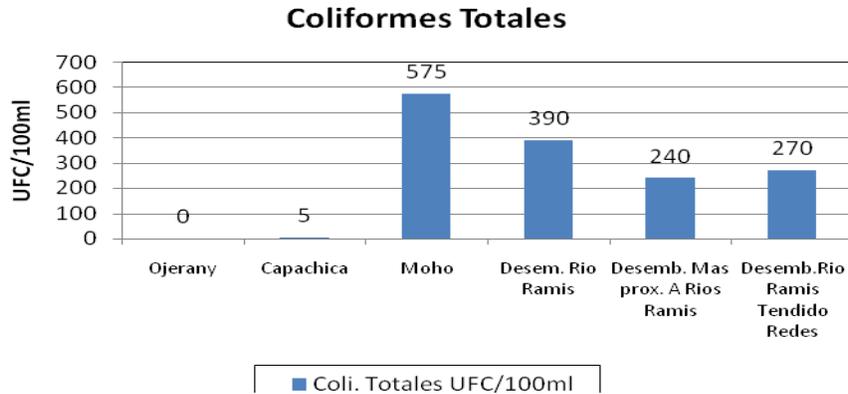


Fig. 2.2.- Concentración Coliformes Totales (UFC/100ml). Crucero de caracterización ecológica y de la contaminación de la zona litoral del lago Titicaca, en áreas seleccionadas, abril 2011.

Coliformes termotolerantes. Los parámetros de calidad de agua para consumo humano indican ausencia de Coliformes termotolerantes, de los resultados solo la zona de Ojerani estaría apta para consumo humano, el resto de zonas de muestreo se consideran aguas para uso recreacional con contacto primario.

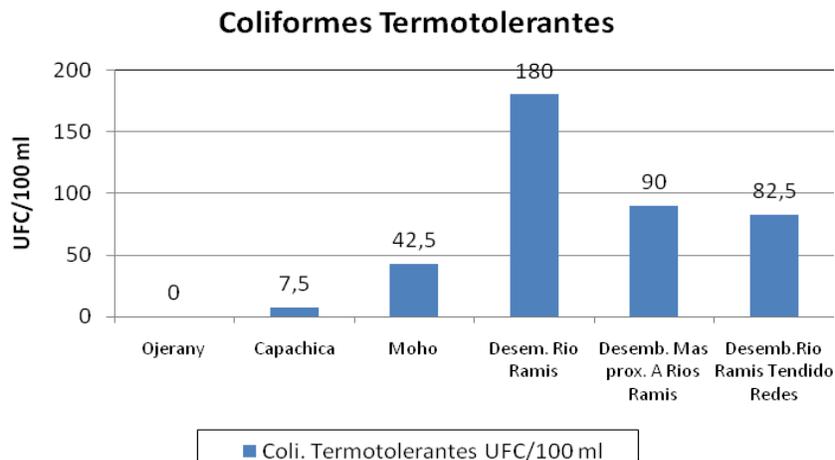


Fig. 2.3.- Concentración Coliformes Termotolerantes (UFC/100ml). Crucero de caracterización ecológica y de la contaminación de la zona litoral del lago Titicaca, en áreas seleccionadas, abril 2011.

Sedimentos y fondo

La caracterización de los sedimentos del lago se realizó mediante la determinación de la granulometría y del contenido de materia orgánica total (MOT) de 22 muestras de sedimentos superficiales, encontrándose la presencia de todas las fracciones granulométricas, desde arena hasta fango y en varias de ellas inclusive fracción de grava. Es los casos donde estuvo presente la grava, ésta se presentó en menor proporción y consistió principalmente de restos de caparazones de moluscos gasterópodos y fragmentos carbonáticos de caparazones de moluscos y en algunos casos fragmentos líticos. Similar composición se presentó en la fracción arena, no pudiéndose precisar a simple vista la proporción entre los fragmentos carbonáticos y la fracción mineral.

La Tabla 2.2 muestra los resultados del análisis granulométrico y determinación de materia orgánica, se puede apreciar que en todos los casos la fracción grava es la de menor abundancia y en algunos casos está ausente. Las fracciones de arena o fango se presentan en primer orden de abundancia según la profundidad de la estación.

Tabla 2.2.- Resultados de análisis de granulometría y materia orgánica total – Crucero ecológico y de la contaminación de la zona litoral del lago Titicaca, en áreas seleccionadas.

Nombre	Fecha	Hora	Prof.	Descripción	%Grava	%Arena	%Fango	%MOT
Juli	13/04/2011	09:43	8 m	Arena con fango presencia de grava. Color grs oliva oscuro. No se percibe olor.	18.08	46.15	35.76	5.45
Juli	13/04/2011	10:52	10 m	Arena con fango. Color pardo oliva muy oscuro. Olor ligero a vegetales descompuestos.	2.34	69.48	28.19	2.48
Juli	13/04/2011	08:05	13,5 m	Fango con arena. Color gris oscuro. Presencia de una capa muy delgada color marrón ligeramente amarillenta. Olor a vegetales.	0.07	1.46	98.47	6.30
Juli	13/04/2011	08:27	25 m	Fango con escasa arena. Muy fluido. No se percibe olor. Color oliva claro	0.38	3.04	96.58	8.43
Juli	13/04/2011	10:35	31 m	Fango. Color gris oliva muy oscuro.	5.18	4.06	90.76	9.13
Juli	13/04/2011	10:13	45 m	Fango con limo y arena. No se percibe olor. Gris oliva oscuro.	12.36	10.39	77.25	9.21
Juli	13/04/2011	12:55	49 m	Arena con fango. No se percibe olor. Gris oliva.	12.99	10.57	76.44	8.92
Taman Capachica	06/04/2011	11:03	2,5 m	Fango con limo y arena. No se percibe olor. Color marrón.	0.00	23.75	76.25	4.26
Taman Capachica	06/04/2011	11:03	10 m	Fango con limo y arena. Color gris oliva. Olor ligero a vegetales. Presencia de vegetales	20.18	3.68	76.14	8.52
Taman Capachica	06/04/2011	11:40	20 m	Arena con fango. Color gris verdosa oscura (arena) y color gris marronácea muy oscuro (fango). Olor similar a desague.	0.00	0.00	100.00	2.78
Taman Capachica	06/04/2011	10:55	53 m	Fango con limo y arena. No se percibe olor. Color gris marrón oscuro	2.83	56.92	40.25	2.71
Taman Capachica	06/04/2011	11:22	100 m	Fango con limo y arena. Ligero Olor a vegetales. Color marrón grisáceo muy oscuro.	0.00	10.02	89.98	6.92
Bahia Moho	07/04/2011	09:45	5 m	Fango con limo y arena. Olor ligero a vegetales descompuestos. Color grs oscuro	0.13	9.78	90.09	10.32
Bahia Moho	07/04/2011	09:30	10 m	Fango con arena. Color gris verdoso (fango), gris ligeramente verde oliva a oliva claro. Abundantes restos vegetales.	0.00	0.00	100.00	8.79
Bahia Moho	07/04/2011	09:20	15 m	Fango limoso compacto. No se percibe olor. Color marrón.	0.00	0.17	99.83	5.88
Bahia Moho	07/04/2011	13:12	37 m	Arena con fango. Gris oscuro a marrón. No se percibe olor.	0.64	76.86	22.49	1.86
Ichu Blanco	04/04/2011	12:30	5 m	Fango. Olor ligero a sulfuro de hidrógeno. Abundantes vegetales. Color oliva claro	2.61	6.96	90.43	13.65
Una Barco	04/04/2011	13:37	7 m	Arena con fango. Color oliva claro. No se percibe olor.	1.80	5.17	93.03	8.60
Ojerani	04/04/2011	8 m	8 m	Fango con limo y arena. Compacto. No se percibe olor. Color oliva claro	0.62	7.15	92.23	8.84
Produce	04/04/2011	12:30	10 m	Fango con limo y arena. No se percibe olor. Color oliva claro amarillento	0.00	0.00	100.00	7.26
Chucasuyo-Juli	13/04/2011	07:47	13,4 m	Fango con arena. Color gris oscuro (fango) y gris oliva (arena). Olor similar a desague, muy intenso. Presencia de vegetales.	0.00	0.00	100.00	9.59
Jacantaya Moho	08/04/2011	08:15	52 m	Fango con arena. Color gris muy oscuro. Olor a vegetales. Presencia de capa delgada marrón oscuro lig. amarillenta	0.00	0.25	99.75	6.41

En el área de Juli el contenido de arena es mayor en las estaciones de menor profundidad, en tanto que en las de mayor profundidad el fango es más abundante. En el caso del contenido de MOT este tiende a ser más abundante en las estaciones de mayor profundidad con excepción de la estación de 8 m de profundidad. Los resultados se muestran en la Tabla 2.2 y en las Figuras 2.4 y 2.5.

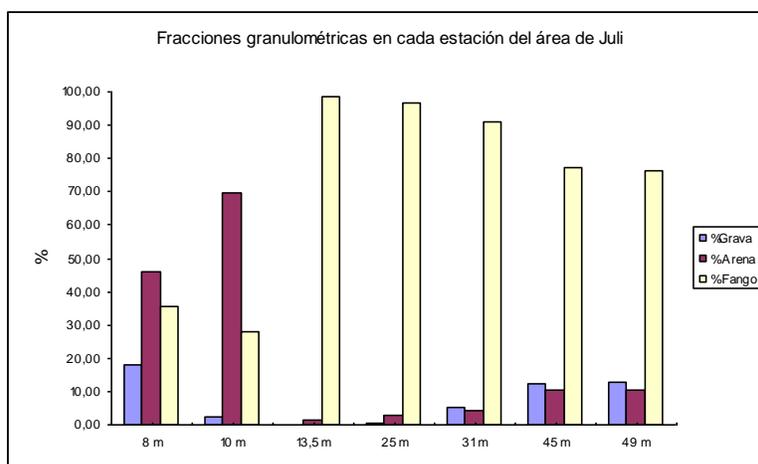


Fig.2.4.- Fracciones granulométricas de grava, arena y fango correspondientes a cada estación del área de Juli

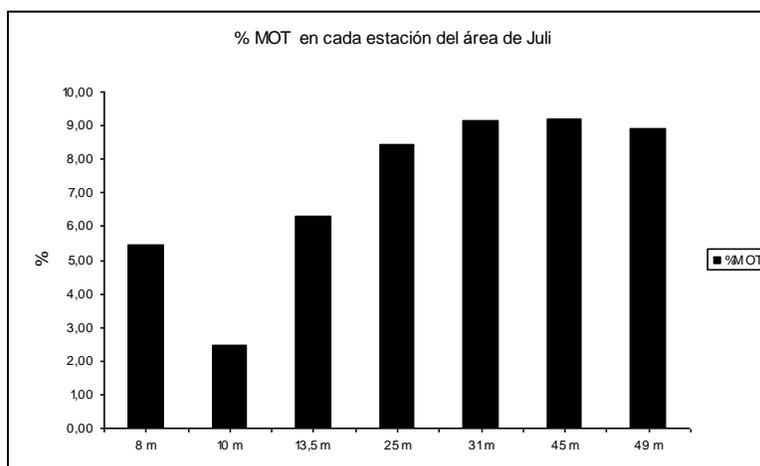


Fig. 2.5.- Contenido de materia orgánica total correspondiente a cada estación del área de Juli

En el área de Taman Capachica el contenido de fango es el más abundante con excepción de la estación de 53 m donde alcanza aproximadamente 40% y tiene una proporción muy importante. En caso de los contenidos de materia orgánica total no se observa un patrón definido. Respecto a la profundidad tiende a ser mayor con respecto al contenido de fango. Los resultados se muestran en la Tabla 2.2 y en las Figuras 2.6 y 2.7.

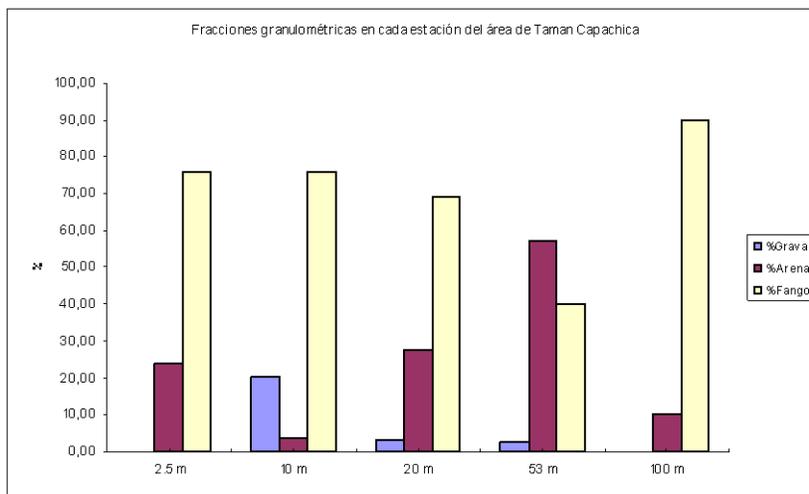


Fig. 2.6.- Fracciones granulométricas de grava, arena y fango correspondientes a cada estación del área de Taman Capachica.

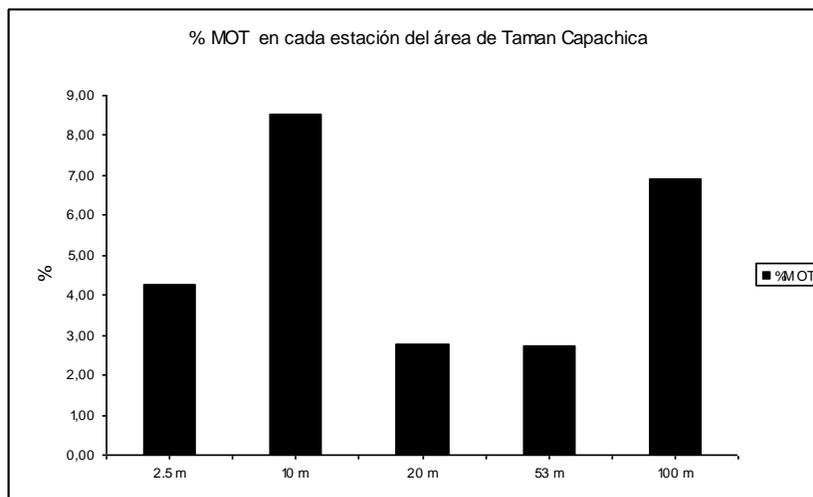


Fig. 2.7.- Contenido de materia orgánica total correspondiente a cada estación del área de Taman Capachica.

En el área de Bahía Moho el contenido de fango en casi todas las estaciones es el más abundante, sobre 90%, con excepción de la estación de 37 m que es la de mayor profundidad y donde alcanza 22,49 % y predomina la arena. El contenido de materia orgánica total se encuentra distribuido en razón inversa a la profundidad. Los resultados se muestran en la Tabla 2.2 y en las Figuras 2.8 y 2.9.

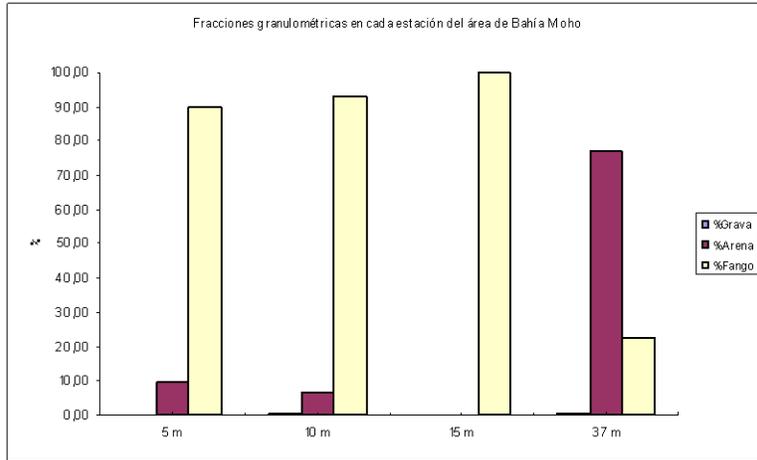


Fig. 2.8.- Fracciones granulométricas de grava, arena y fango correspondientes a cada estación del área de Bahía Moho

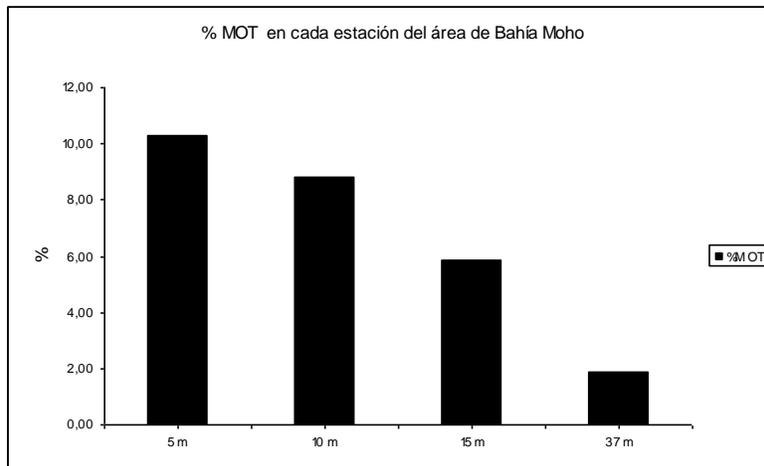


Fig. 2.9.- Contenido de materia orgánica total correspondiente a cada estación del área de Bahía Moho

Para las muestras que provienen de diferentes áreas, el contenido de fango es el predominante. De modo general se aprecia que el contenido de materia orgánica total se encuentra distribuido en razón directa con la profundidad a excepción de la estación Ichu Blanco a 5m de profundidad. Los resultados se muestran en la Tabla 2.2 y en las Figuras 2.10 y 2.11.

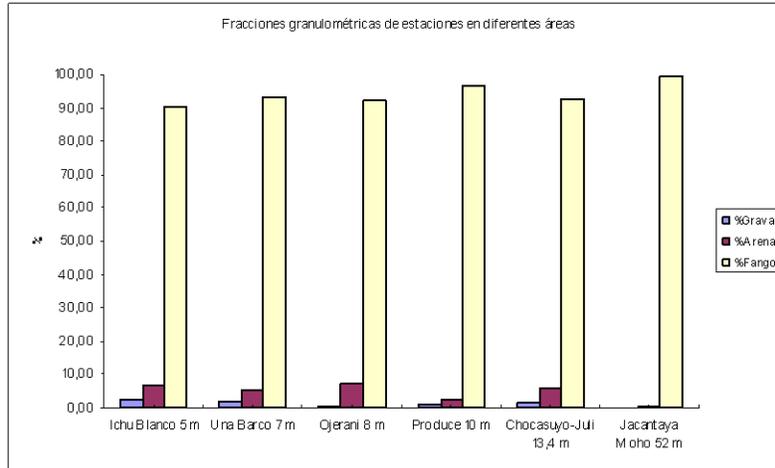


Fig. 2.10.- Fracciones granulométricas de grava, arena y fango correspondientes a cada estación de diferentes áreas.

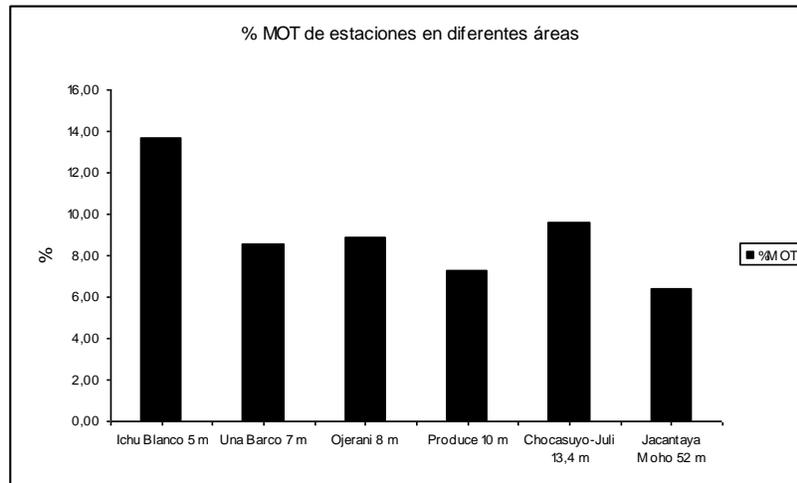


Fig. 2.11.- Contenido de materia orgánica total correspondiente a cada estación de diferentes áreas.

CONCLUSIONES

Durante el estudio se observó una estratificación termal de la columna de agua en todas las zonas evaluadas, siendo la zona de la bahía de Puno la que registró los mayores valores de temperatura.

La concentración de oxígeno disuelto encontrada hasta los 50 m de profundidad, aproximadamente, en el Lago Mayor y en toda la columna de agua de la bahía de Puno aseguran una buena oxigenación de las aguas para todos los procesos biológicos que se desarrollan.

La estabilidad que mostró el pH en las zonas evaluadas asegura la supervivencia de todas las formas de vida que habitan el lago Titicaca.

En relación a los nutrientes, los valores de nitritos para la Bahía de Puno y Capachica aumentan con la profundidad. Para la zona de Ramis la concentración de NO_2 disminuye con la profundidad siendo está a nivel superficial de 0,010 mg/L y en el fondo (50 m) de 0,004 mg/L. Los nitratos se incrementan con la profundidad, con algunas excepciones en la zona de Ramis y Moho, donde presentan valores altos a nivel superficial, mientras que los fosfatos disminuyen con la profundidad. En general los nutrientes se encuentran por debajo de los estándares de calidad de agua, para la categoría 4, sin embargo es necesario poner atención en la

variación temporal de estos parámetros, sobre todo en zonas litorales donde hay actividades humanas.

Las altas concentraciones de DBO₅, que superan los estándares de calidad ambiental, están indicando procesos de contaminación en las zonas litorales del lago Titicaca evaluadas, poniendo en riesgo la estabilidad del ecosistema.

La concentración de coliformes totales y termotolerantes encontradas evidencian zonas del lago que se encuentran muy por encima de los parámetros permisibles, especialmente donde existen afluentes y poblaciones cercanas a la orilla del lago Titicaca, por lo cual es necesario poner especial atención a estas zonas e implementar un sistema de monitoreo, afín de descartar si se trata de fuentes de contaminación permanentes.

En las estaciones del área de Juli y Bahía Moho los sedimentos tienen de modo general contenidos de MOT en relación directa con la profundidad en tanto que para los sedimentos del área de Taman Capachica no se observa un patrón definido entre los contenidos de materia orgánica total respecto a la profundidad pero sí de relación inversa al contenido de arena.

ESTUDIO DE LA COMUNIDAD MICROALGAL EN OTOÑO DEL 2011 DURANTE EL CRUCERO DE CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA EN AREAS LITORALES SELECCIONADAS DEL LAGO TITICACA Cr1104.

RESUMEN

Se estudió la composición, abundancia, estructura y diversidad comunitaria de microalgas que presenta las zonas de Bahía – Puno (zona A), Capachica (zona B), Moho (zona C), Conima (Zona D), Bahía Interior (zona E) y Juli (zona F); las muestras fueron colectadas con una red de 20 micras mediante un filtrado de 10 litros en la red de fitoplancton, dichas muestras fueron preservadas en formalina al 2%, El análisis cualitativo y cuantitativo de las muestras de fitoplancton se efectuó empleando un microscopio invertido con contraste de fases y ocular micrométrico. Para todas las estaciones el grupo de Chlorophytas fueron los más predominantes. En la época de Otoño se registró un total de 38 géneros representados principalmente por *Ulothrix*, *Oocystis*, *Mougeotia* y *Pediastrum*, seguido del grupo de las Bacillariophytas con las especies *Fragilariacrotonensis* y *Asterionellaformosa*, en general se tuvieron los grupos Chlorophyta (54%), Bacillariophyta (43%), Cyanophyta (2%) y Pyrrophyta (1%). Las abundancias estuvieron dominadas por *Mougeotiasp* con 372 369 ind/m³, *Pediastrumsp* con 128 300 ind/m³, *Fragilariacrotonensis* 484 264 ind/m³ y *Asterionellaformosa* con 35 972 ind/m³. El análisis comunitario para las zonas presentó un rango de variación de 0,40 bits/individuos hasta 2,1 bits/individuos y los valores de diversidad presentaron un promedio de 2 bits/individuo lo que estaría fuertemente influenciado por la abundancia de pocos géneros. El análisis de similaridad entre zonas de muestreo y grupos taxonómicos estuvo representado por seis grupos para esta época de evaluación.

INTRODUCCION

A partir del convenio IMARPE - PROPECSA 2007-2010 se viene realizando evaluaciones de caracterización Bio-ecológica de la comunidad microalgal en el lago Titicaca, sector peruano, a fin de conocer los componentes abióticos y bióticos y la dinámica ecológica de este ecosistema lacustre. En este sentido se han desarrollado estudios sobre la productividad primaria representado por la comunidad fitoplanctónica durante el mes de abril del 2011, constituyendo la diversidad para la estación otoñal en el altiplano.

El fitoplancton desempeña un papel importante en la sostenibilidad de la cadena trófica por considerarse alimento primordial de la productividad secundaria, estudios sobre fitoplancton en el lado peruano del lago Titicaca han sido poco continuos, es así que podemos citar algunos autores que desarrollaron investigaciones con respecto al plancton en el lago Titicaca referidos a la productividad primaria y biomasa algal; entre ellos tenemos a RICHERSON (1977) quien hizo un estudio general sobre el fitoplancton del lago, luego estudios similares fueron realizados por RICHERSON (1986) y VINCENT (1986) en el lago mayor de la bahía polimictica y poco profunda de Puno. Estudios sobre diatomeas (Bacillariophytas) fueron realizados por TUTIN (1940), CARNEY (1987) y por FRANGUELLI (1939).

Considerando el alto crecimiento demográfico que se viene dando en la población puneña se viene también incrementando la concentración de cargas orgánicas e inorgánicas de origen antrópico y se va generando procesos de eutrofización localizados en las zonas ribereñas del lago Titicaca (NORTHCOTE *et al.* 1991), lo cual puede afectar la integridad y la dinámica del ecosistema, así como en la diversidad y abundancia del fitoplancton, redundando en la ictiofauna para perjuicio de la pesquería artesanal propia de la zona circunlacustre.

El presente informe pretende dar a conocer la riqueza de especies, la abundancia y la distribución del fitoplancton de acuerdo a estaciones determinadas para el lago Titicaca; así como las características que presentan las diferentes estaciones en las cuales se evaluaron la flora planctónica y su relación con los parámetros físico-químicos más importantes.

MATERIALES Y METODOS

La caracterización Bioecológica para la evaluación fitoplanctónica en el lago Titicaca se realizó entre el 03 y el 13 de abril del 2011, considerándose en general las siguientes zonas: Bahía de Puno (zona A), Capachica (zona B), Ramis (zona C), Moho (zona D), Bahía Interior (zona E) y Juli-Pomata (zona F); obteniéndose un total de 53 muestras (11 correspondientes a la zona A, 12 a la zona B, 11 a la zona C, 6 a la zona D, 3 a la zona E y 10 a la zona F), las cuales fueron colectadas con una red de 20 μm de poro mediante un filtrado superficial de 10 litros por muestra y estación utilizando una red de fitoplancton convencional, dichas muestras fueron preservadas con formalina al 2% y analizadas en cámaras de sedimentación tipo Uthermhol, cuyos resultados son expresados en número de individuos/metro cúbico ($\text{N}^\circ \text{ ind}/\text{m}^3$). Para el análisis cualitativo y cuantitativo se empleó un microscopio invertido con contraste de fases y ocular micrométrico (Uthermhol 1958). Los lugares de muestreo se muestran en la Figura 1.

Para interpretar los aspectos cuantitativos de la estructura comunitaria se consideró el número de especies y la abundancia por estación de muestreo. Se calcularon índices de diversidad de Shannon-Wiener (H'), basados en las variaciones de la composición específica de las comunidades de organismos según zonas. Además se realizó un análisis de ordenación no métrico multidimensional (NMDS) basado en índices de similitud y la construcción de cladogramas; los gráficos de carta de posiciones y distribución de las densidades del fitoplancton se realizaron utilizando el Programa ArcGIS- versión 10.

Para la determinación taxonómica de los componentes del fitoplancton se consultaron los siguientes trabajos: Acleto (1966), OLDEPESCA (1987), Reyes (1975), Prescott (1978), Belcher&Swale (1979), ALDAVE (1989), PARRA et al (1982).

RESULTADOS

Composición, distribución y abundancia del fitoplancton

Se registró un total de 38 géneros, los cuales estuvieron representados por cuatro divisiones: Chlorophyta (54%), Bacillariophyta (43%), Cyanophyta (2%) y Pyrrophyta (1%) (Figura 2). El grupo de las Chlorophytas fueron las más representativas en todas las zonas de muestreo sobresaliendo los géneros *Mougeotiasp* con 372 369 ind/m^3 , *Pediastrumsp* con 128 300 ind/m^3 , seguido del grupo de las Bacillariophytas con *Fragilariacrotonensis* 484 264 ind/m^3 , otro género abundante fue *Asterionellaformosa* con 35 972 ind/m^3 . Las Chlorophytas que

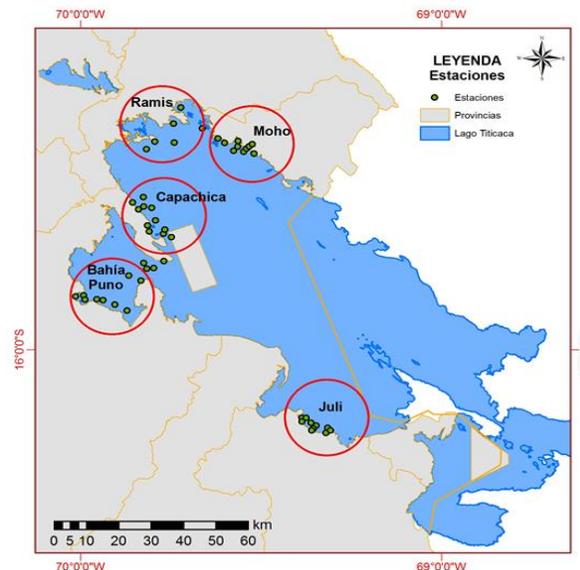


Figura 2.12.- Puntos de evaluación de fitoplancton en el Lago Titicaca (abril 2011).

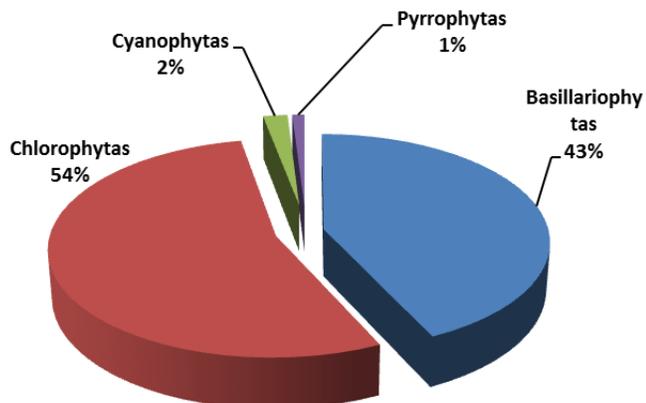


Figura 2.13. Composición de la flora planctónica por grupos taxonómicos

registraron menores abundancias pero mayores frecuencias en todas las estaciones fueron *Oocystis*, *Staurastrum*, *Scenedesmus* y *Uluthrix*. Las Bacillariophytas registraron a *Cyclotella* y *Estephanodiscus*, dentro de las Cyanophytas se registraron a *Gomphosphaeria* y *Oscillatoria*, las Pyrrhophyta estuvieron representadas por el género *Glenodinium*.

TERREL&BYTNAR (1996) estudiaron el género *Mougeotia* e indican que son propias de aguas estancadas, *Fragillaria*, es otro género que presenta amplio rango ecológico (PINILLA 2000) de igual manera los géneros *Pediastrum* *Scenedesmus*, habitan en ambientes eutróficos y son utilizados como organismos indicadores de la calidad del agua. *Anabaena* es muy frecuente en aguas eutrofizadas con altas cargas de materia orgánica.

Análisis Comunitario

El índice de diversidad presentó un rango de variación entre 0,40 bits/ind (Estación B-6) y 2,14 bits/ind (Estación BP29), las zonas Ramis, Moho y Juli presentaron un promedio aproximado de 1,3 bits/ind lo que estaría fuertemente influenciada por la abundancia de pocos géneros. La estación BP34 (Bahía Puno) presentó la mayor abundancia de organismos fitoplanctónicos, superando los 17000 ind/m³, seguido por la estación M6 (Moho) con casi 8000 ind/m³; la estación con menor abundancia fitoplanctónica fue la M9 y M11 (Moho) con menos de 1000 ind/m³ (Figura 3).

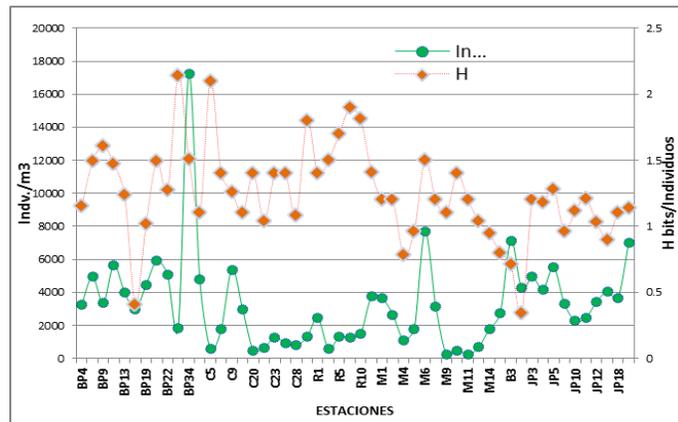


Figura 2.14.-Variación de la abundancia de fitoplancton y diversidad (Shannon H).

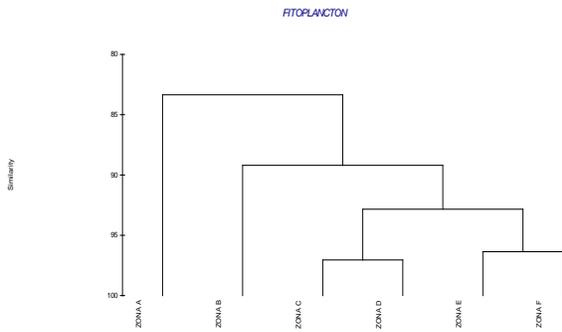


Figura 2.15.- Cladograma de la abundancia de fitoplancton según zonas de evaluación

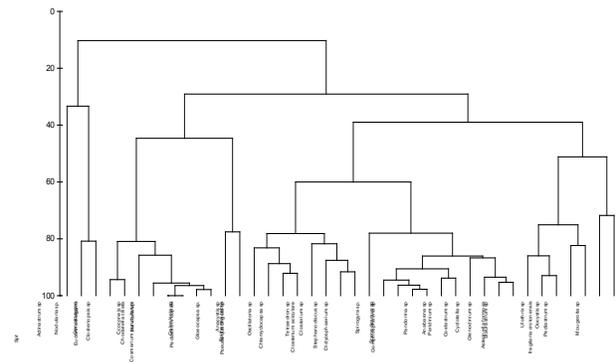


Figura 2.16.- Cladograma de la abundancia por especies de fitoplancton en el lago Titicaca

De acuerdo a las seis zonas evaluadas en el lago Titicaca, la abundancia del fitoplancton muestra cuatro grupos bien definidos: la Zona A correspondiente a la bahía de Puno difiere de las demás zonas, de igual modo la Zona B (sector Capachica); sin embargo las Zonas C (Ramis) y D (Moho) son similares al igual que las Zona E (Bahía interior) y Zona F (Juli); en general las Zonas C, D, E y F tienen un alto grado de similitud en cuanto a la abundancia de fitoplancton. Finalmente se puede concluir que la abundancia de fitoplancton en el lago Titicaca para el mes de abril fue similar en todos los puntos de muestreo, considerando que el porcentaje de similitud para todas las zonas fue superior al 80%; esto obviamente puede diferir según especies, ya que en cada una de las zonas pueden predominar especies distintas (Figura 4).

La abundancia por especies en el mes de abril para el lago Titicaca se establece en seis grupos distintos, aunque en general existe una similitud superior al 50% entre todas las especies. Se evidencia de manera notoria a los géneros *Sphaerocystis* y *Nodularia* que son los menos similares con todas las especies con respecto a su abundancia (Figura 5).

En cuanto a la diversidad de especies las Zonas de Moho y Juli tienen casi un 100% de similitud, las zonas de Capachica y Ramis superan el 95% de similitud, sin embargo la Bahía Interior de Puno supera el 80% de similitud con ambas zonas. En ese contexto se puede denotar tres grupos bien definidos: la Zona de Noho y Juli, la Zona de Capachica y Ramis y la Zona de la Bahía Interior. Es evidente además que la similitud entre todos los grupos y zonas evaluados en cuanto a diversidad es relativamente alta.

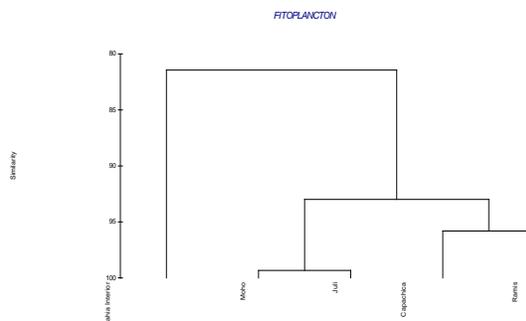


Figura 2.17.- Cladograma de la diversidad y zonas de evaluación en el lago Titicaca

El Cuadro 1, muestra que las zonas con mayor diversidad fitoplanctónica son Capachica y la Bahía de Puno, con un valor 1.37 y 1.35 respectivamente, estas zonas son espejos de agua claros y profundos y tienen poca perturbación antrópica, lo que probablemente conlleva a sus mayores niveles en diversidad; sin embargo estos valores indican una diversidad baja lo que es comprensible ya que el lago Titicaca es un ecosistema de altura, con temperaturas relativamente bajas en el cual prosperan pocas especies del fitoplancton. A diferencia la Bahía Interior de Puno constituye la zona con menor diversidad de especies, alcanzando solamente un valor de 0.61, quedando evidente que el efecto de la contaminación por aguas residuales que se descargan en esta Zona afecta de un modo negativo a la diversidad de especies; además la importante presencia de Cyanophytas en esta parte del lago hace suponer problemas de eutrofización inducida.

Cuadro 2.3. Promedios del índice de diversidad de Shannon de fitoplancton según Zonas evaluadas en el lago Titicaca (Abril 2011).

zonas	H'
Bahía Puno	1.35
Capachica	1.37
Moho	1.14
Ramis	1.62
Bahía Interior	0.61
Juli	1.11

Relación fitoplancton clorofila – a

El grupo de las Chlorophytas responden a las mayores concentraciones de clorofila- a principalmente en la zona de bahía Puno presentando concentraciones mayores a $>1,0 \mu\text{g/L}$, sin embargo las Bacillariophytas presentaron concentraciones de clorofila- a menores a $1,0 \mu\text{g/L}$ (Figura 7). Las variaciones entre la abundancia de organismos planctónicos y la concentración de clorofila – a, de acuerdo a cada zona de evaluación son coincidentes, lo cual ratifica que el patrón de distribución y abundancia de la flora algal tiene niveles definidos de acuerdo a cada zona en el sector peruano del lago Titicaca.

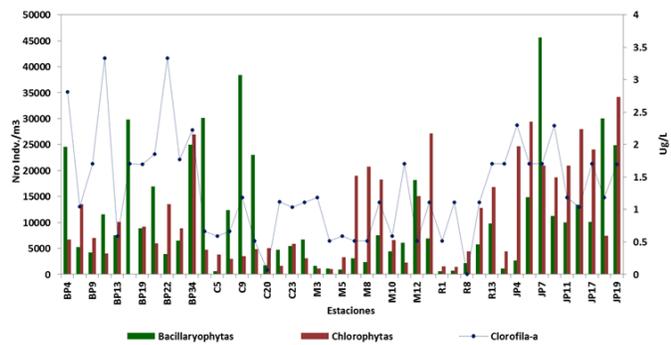


Figura 2.18.-Relación fitoplancton y clorofila –a

DISCUSION

Según las evaluaciones fitoplanctónicas que se vienen realizando en diferentes estaciones anuales se infiere que la predominancia de los grupos taxonómicos resulta diferente para cada estación anual, es así que en la época de invierno el grupo de las Chlorophytas y Cyanophytas son las más predominantes (informe – IMARPE, Verano 2009), sin embargo la época de otoño registró predominancia en los grupos de Chlorophytas y Bacillariophytas (Informe - IMARPE Otoño 2009 y 2011).

Los resultados obtenidos muestran que a mayor grado de avance del proceso eutrófico, las comunidades de fitoplancton se simplifican, dominando solo algunos grupos taxonómicos (como por ejemplo *Fragillaria*, *Pediastrum* y *Mougeotia*) relegando al resto, lo que se observa en el nivel de la diversidad (menores a 1 bits.ind^{-1}).

CONCLUSIONES

El fitoplancton evaluado durante el otoño 2011 en las diferentes estaciones estaría representado principalmente por el grupo de las Chlorophytas con los géneros *Mougeotia* y *Pediastrum*, el grupo de las Bacillariophytas estuvieron representados por *Fragillariacrotoneensis* y *Asterionella Formosa*, es así que los resultados obtenidos para la estación otoñal obedece a cierto grado de eutrofización asociadas a índices de diversidad bajos y pH altos en las estaciones evaluadas.

RESUMEN

Se evaluaron cinco zonas en la parte litoral del lago Titicaca: Bahía Puno, Capachica, Moho, Ramis Y Juli. La composición de las especies estuvo representada por tres grupos de zooplancton Rotíferos, (3) Copépodos (3) y Cladóceros (12), *Bockella* y *Keratella* fueron los géneros de mayor abundancia principalmente en la zona de Capachica y Bahía Puno. La mayor riqueza y diversidad se registró en la zona de Capachica (zona B) seguido de Bahía Puno (zona A) mientras que la menor diversidad se halló en Juli (zona E). El análisis de componentes principales asocio a Juli y Bahía Puno como zonas de mayor similitud, Capachica Ramis y Moho se registraron como un segundo componente de similitud entre zonas.

INTRODUCCIÓN

El zooplancton desempeña un papel importante en la sostenibilidad de la cadena trófica por considerarse alimento primordial de la productividad primaria y excelente indicador del estado trófico de ecosistemas acuáticos puesto que su fisiología responde a ciertos cambios ambientales acuáticos. Estudios sobre zooplancton en el lado peruano del lago Titicaca han sido poco continuos, es así que podemos citar algunos autores que desarrollaron investigaciones con respecto al plancton citaremos a HARDING (1955) estudió cladóceros y copépodos con las colecciones efectuadas por la expedición Percy Salden en 1937. KEIFER (1957), UENO efectuó un trabajo general sobre el zooplancton de Huiñaimarca de la parte Boliviana, tomando en cuenta copépodos, cladóceros y rotíferos. NORTHCOPE (1991) caracterizó algunas especies asociadas a procesos de eutrofización.

El presente informe pretende dar a conocer la variedad de especies existentes en las estaciones evaluadas además de la abundancia y la distribución del zooplancton así como algunas características ambientales que presentan las diferentes estaciones de evaluación.

MATERIAL Y METODOS

La caracterización Bioecológica realizado en la zona litoral del lago Titicaca en áreas seleccionadas: Bahía Puno, Capachica, Moho, Ramis y Juli, entre el 03 al 13 de abril del 2011, se colectaron un total de 53 muestras en superficie. Las muestras se obtuvieron realizando un filtrado de 20 litros por muestra y estación utilizando una red estándar de 50 micras de abertura de malla y aro de 30 cm, las muestras fueron fijadas con formaldehído al 4%.

El análisis cualitativo y cuantitativo de las muestras de zooplancton se efectuó en el laboratorio del Área de Limnología empleando un microscopio compuesto marca OLIMPUS CX 41

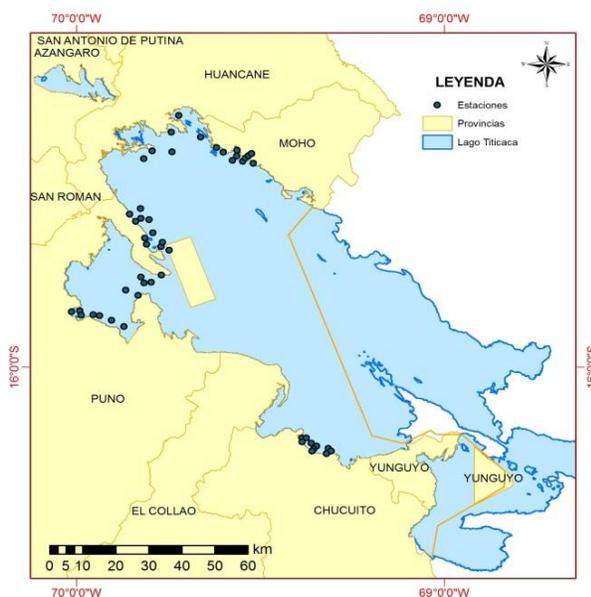


Fig. 2.19.- Puntos de evaluación de Zooplancton en el Lago Titicaca Cr.1104.

con ocular micrométrico y un microscopio estereoscopio marca MEIJI para realizar el conteo se procedió a distribuir la muestra (300 ml) en tubos de 15 ml los cuales se llevaron a la centrifuga a una velocidad de 2400 revoluciones/minuto durante cinco minutos., se procedió al conteo del volumen concentrado. Según la metodología descrita en (Villafañe, *et al.* 1995).

Los resultados de las abundancias del zooplancton fueron expresados en org/m³. Para la determinación de las especies se emplearon los trabajos de DEJOUX (1991), UENO (1967). Para el procesamiento de la información se emplearon los programas Word, Excel y para la elaboración de las cartas de distribución y abundancia se utilizó el programa arGis versión 10. Se efectuó el índice de diversidad de Shannon (H') cuyos resultados se expresan en bits/ individuo y el índice de Equidad (J') empleando el programa PRIMER 5.2.2., para la evaluación de los componentes principales se utilizó el programa XL STAT

RESULTADOS

Composición, distribución y abundancia

Se registró un total de 3 grupos: rotíferos (6), cladóceros (11) y copépodos (3), Los grupos taxonómicos más predominantes fueron los Copépodos alcanzando el 65% Seguido de los Rotíferos con 27% y finalmente los Cladóceros 8%, Fig. 2.20. El grupo de los Copépodos está representado por el género *Boeckella* siendo la especie más abundante y predominante en todas las estaciones de muestreo.

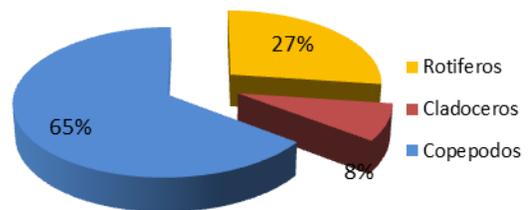


Fig.2.20.- Composición porcentual de zooplancton. Cr 1104

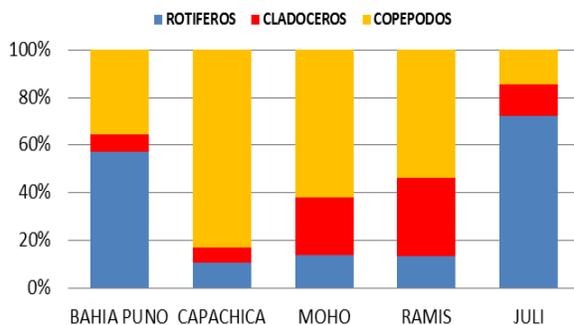


Figura 2.21.- Distribución por zonas del zooplancton

Rotíferos alcanzando el 67%, en abundancia representado por el género *Keratella*. Fig. 2.21

Las especies más abundante fueron los Copépodos que se encontraron en estado pre-juvenil alcanzando un total de 75 582 Indv/m³, seguido de *Keratella quadrata* con 28 611 Indv./m³, *Metacyclops leptopus* fue otra especie que alcanzó mayor abundancia en todas las estaciones de muestreo. Fig. 2.22.

ANALISIS COMUNITARIO

La mayor abundancia se registró en la zona B (Capachica) oscilando entre indv./m³ mientras que la concentración más baja se presentó en Juli (zona E) con 9300 Indv./m³, las zonas A, C Y D presentaron abundancias relativamente iguales, los Copépodos fueron predominantes en la zona B, C, y D alcanzando en promedio el 70% en abundancia representado principalmente por el género *Boeckella*, las zonas A y E (Bahía Puno y Juli) estuvo representado por el grupo de los

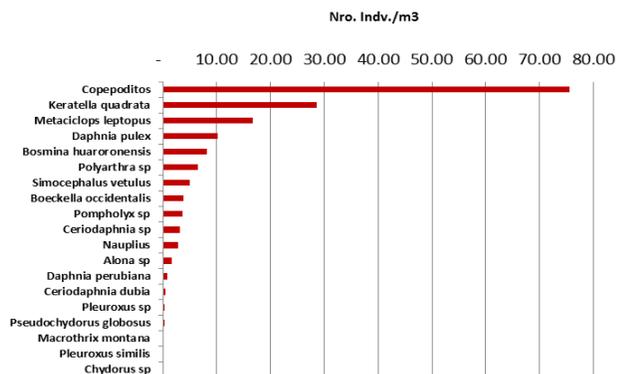


Figura 2.22.- Abundancia de los principales especies. Cr 1104

Respecto a la estructura comunitaria, la riqueza de especies fluctuó entre 1,0 (Juli) y 18 (bahía Puno). Mientras que, la diversidad de Shannon (H') alcanzo valores de 0,65 (Juli) y 1,44 bits.ind⁻¹ (bahía Puno), Fig. 5 estos valores estuvieron relacionados con la distribución y abundancia de especies.

Los máximos valores de diversidad se hallaron en la zona A (Bahía Puno) y zona B (Capachica), la zona A se caracterizó por presentar baja abundancia y alta diversidad de especies, sin embargo la zona B presento alta abundancia y diversidad respectivamente, ambas zonas presentaron una dominancia marcada de algunos géneros como *Keratella* en la zona A y Copépodos en estado pre –juvenil en la zona B. en general los valores altos de diversidad estuvieron asociadas con una mejor distribución de las densidades de las especies, de igual manera en las áreas donde se hallaron los menores valores de equidad y diversidad se observó la dominancia de algunas especies, en el área C y D predominaron los Copeppdos (*B. titicaca*, y Copepoditos) mientras que en la zona E estuvo representado por los rotíferos (*Keratellaquadrata*).

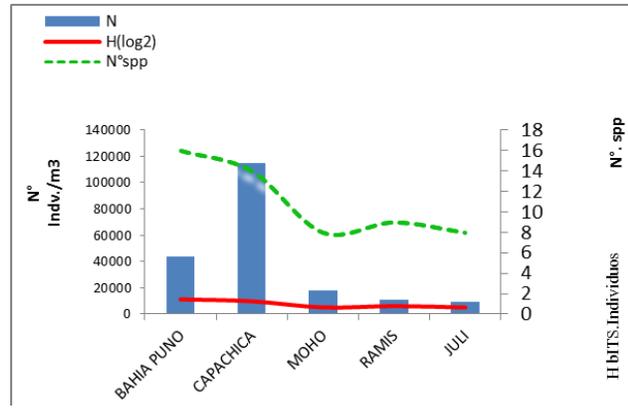


Figura 2.23.- Distribución espacial entre abundancia, diversidad y numero de especies de la comunidad zooplanctonica del lago Titicaca. Cr 1104

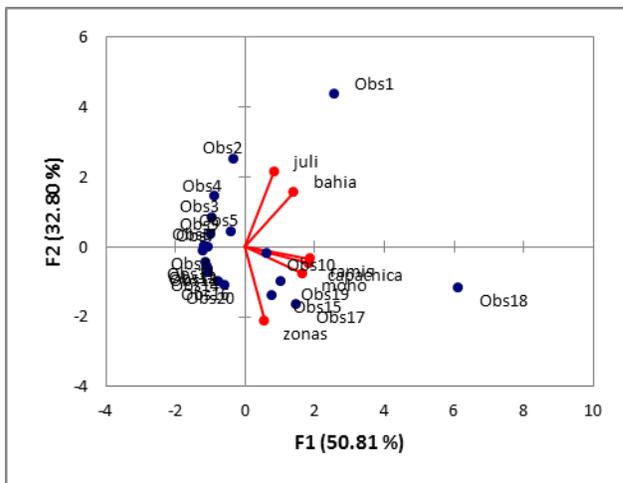


Fig. 2.24.- Análisis de los principales componentes de zooplancton Cr.1104

La primera componente muestra que existe alta correlación entre las zonas de Juli y Bahía Puno, por encontrarse similitud respecto a su abundancia y presencia de casi todas las especies representado principalmente por el género *Keratella*, la segunda componente, se correlaciona con las zonas de Capachica, Moho y Ramis fundamentalmente por la presencia de los géneros Copépodos (copepoditos en estado pre – juvenil) y Cladóceros (*Daphniapulex*). Fig. 2.24.

COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS

INTRODUCCION

En un sistema léntico los cambios en los niveles de trofia normalmente están acompañados de cambios estructurales en las comunidades biológicas. Una de las formas de establecer estos cambios estructurales, en forma simple, es a través de una evaluación rápida de la biodiversidad, realizada en base a la discriminación de morfoespecies, sin tener que profundizar las identificaciones taxonómicas a niveles de género y especie (MARQUÉS ET AL., 2001). Los macroinvertebrados bentónicos son organismos que habitan los fondos de los cuerpos de agua. Ecológicamente son un enlace importante en el reciclaje de nutrientes, suministrando energía a los niveles tróficos superiores del ecosistema lacustre. Muchas veces tienen una capacidad restringida de movimiento y por lo tanto son sensibles a cambios ambientales (ROLDAN, G, 2003). Su composición específica y abundancia, depende de la cantidad de materia orgánica presente, la que está relacionada con la productividad (BRINKHURST, 1974; VALDOVINOS & FIGUEROA, 2000). Los macroinvertebrados bentónicos son un enlace importante en el reciclaje de nutrientes, suministrando energía a los niveles tróficos superiores del ecosistema lacustre. Su composición específica y abundancia, depende de la cantidad de materia orgánica presente, la que está relacionada con la productividad (JOHNSON ET AL., 1993; VALDOVINOS & FIGUEROA, 2000), siendo considerados como un indicador de la calidad del agua (MARQUÉS ET AL., 2001). El cambio en las características del sustrato por la sedimentación de la materia orgánica y la disminución de oxígeno disuelto, comienza a ser evidente a medida que el enriquecimiento orgánico es mayor, reduciendo las comunidades características de aguas limpias y provocando la desaparición de taxa intolerantes, provocando que se modifique la estructura de dominancia de la comunidad (JOHNSON ET AL., 1993; ROSENBERG&RESH, 1993). El presente informe contribuye de esta manera al conocimiento de los macroinvertebrados bentónicos y su rol como indicador de la calidad del medio acuático.

MATERIALES Y METODOS

El muestreo se realizó entre el 04 y 13 de abril de 2011 en cuatro zonas de muestreo: Bahía de Puno (Produce y UNA), península de Capachica, Ramis – Moho y Juli – Pomata. Cada zona fue evaluada utilizando el diseño de muestreo basado en el tipo de macrofauna existente respecto a la profundidad y naturaleza del sustrato. Desde una embarcación con una draga tipo Van-Vennde 0,05 m² de área de cobertura se tomaron 3 réplicas. El contenido fue tamizado con una red 500 μ de abertura de malla. Todas las muestras fueron fijadas con formalina al 10%, rotuladas y trasladadas al laboratorio para su identificación respectiva. En laboratorio la macrofauna fue separada bajo estereomicroscopio en morfoespecies y determinada hasta el nivel taxonómico más bajo posible. Luego se cuantificó la densidad expresada en individuos por área de cobertura de draga (0,05m²).

RESULTADOS Y DISCUSION

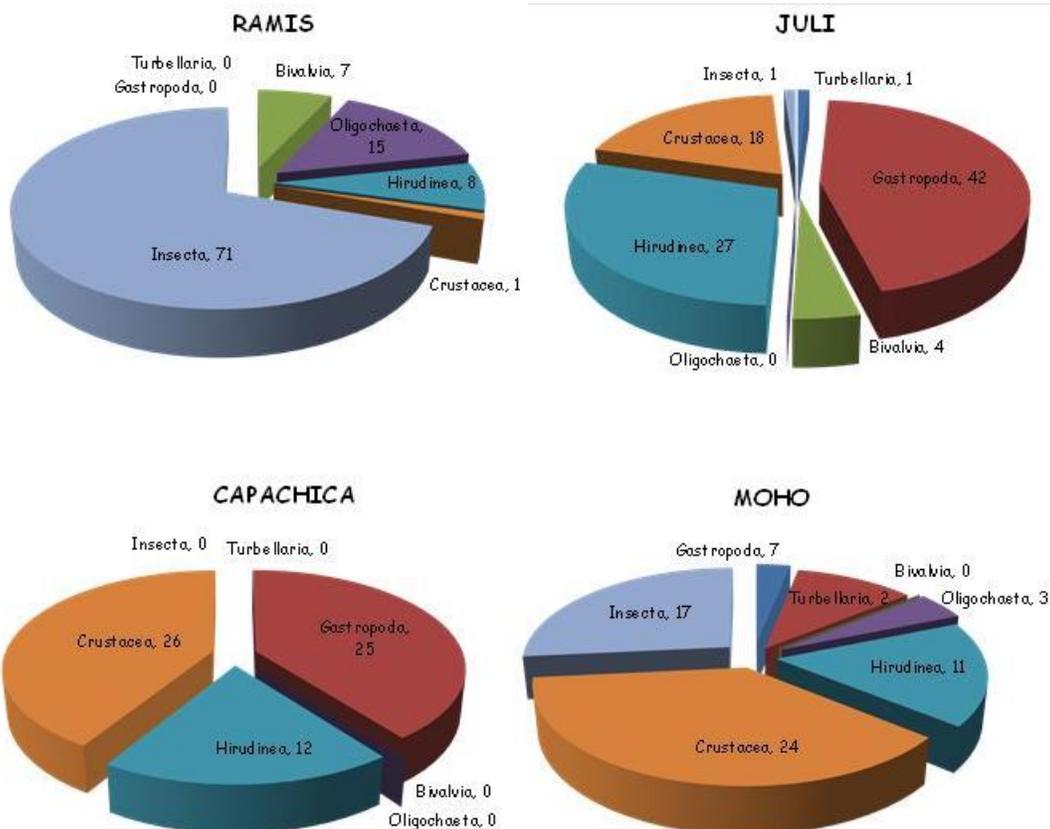
En este estudio se reportaron 07 taxa: Turbellaria, Gastropoda, Bivalvia, Oligochaeta, Hirudinea, Crustacea e Insecta. Los Insecta registraron una mayor dominancia numérica con 71 ind.0,05m⁻² en la zona de Ramis (Fig. 2.25). Seguido de los Gasterópoda (42 ind.0,05m⁻²) en Juli. Mientras que, los Crustacea dominaron en Moho (24 ind.0,05m⁻²), Capachica (26 ind.0,05m⁻²), PRODUCE (12 ind.0,05m⁻²) y UNA (22 ind.0,05m⁻²).

Las especies dominantes fueron de la familia Chironomidae (Diptera: Insecta) con 89 ind.0,05m⁻², en estadio de larva (Fig. 2.25) en las zonas de Ramis y Moho. La presencia de este grupo está asociada al enriquecimiento orgánico de los sedimentos (ROSENBERG&RESH, 1993), siendo indicadores biológicos de

ambientes con alta carga orgánica (ROLDAN, 2003), como fue el caso de Ramis y Moho. Mientras que en las zonas de Moho y Capachica, dominó *Hyaella simplex* (Amphipoda: Crustacea) con 68 ind.0,05m⁻² (Fig. 2.25).

Tabla 2.4.- Parámetros biológicos e índices de diversidad.

Puntos Evaluados / Indices biológicos	Número de Especies S	Número de Individuos N	Riqueza	Índice de	Índice de	Dominancia de Simpson D		
			de Marqalef d'	Equidad de Pielou J'	Shannon- H' (Log ₂)			
Cruceiro Bio - ecológico en zonas seleccionadas del Lago Titicaca	JULI	J1	4	12	1.207	0.604	1.208	0.583
		J2	4	56	0.745	0.722	1.444	0.413
		J3	8	25	2.175	0.920	2.759	0.165
	RAMIS	R1	2	72	0.234	0.106	0.106	0.973
		R2	4	18	1.038	0.894	1.788	0.309
		R3	1	1			0.000	1.000
		R4	2	11	0.417	0.684	0.684	0.702
	MOHO	M1	1	2	0.000		0.000	1.000
		M2	5	24	1.259	0.606	1.408	0.528
		M3	5	30	1.176	0.888	2.061	0.273
		M4	2	8	0.481	0.811	0.811	0.625
	CAPACHICA	C1	7	48	1.550	0.840	2.359	0.247
		C2	1	4	0.000		0.000	1.000
		C3	3	7	1.028	0.982	1.557	0.347
		C4	3	4	1.443	0.946	1.500	0.375
	PRODUCE UNA	P1	5	20	1.335	0.854	1.983	0.280
		U1	3	24	0.629	0.808	1.281	0.458



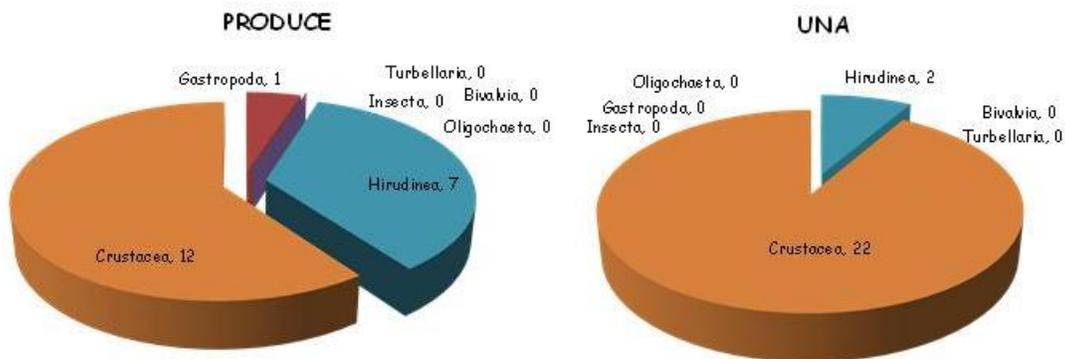


Figura 2.25.- Dominancia numérica (ind.0,05m⁻²).Crucero ecológico en zonas seleccionadas del Lago Titicaca. 4 al 13 de abril de 2011

En cuanto a la diversidad biológica de los macroinvertebrados, esta fue moderada. El índice de Shannon varió entre 0,106 (Ramis) a 2,76 bits.ind⁻¹ (Juli) con una riqueza de especies entre 1 a 8 (Tabla 2.3), lo que muestra escasa dominancia de alguna especie (MORENO, 2001).

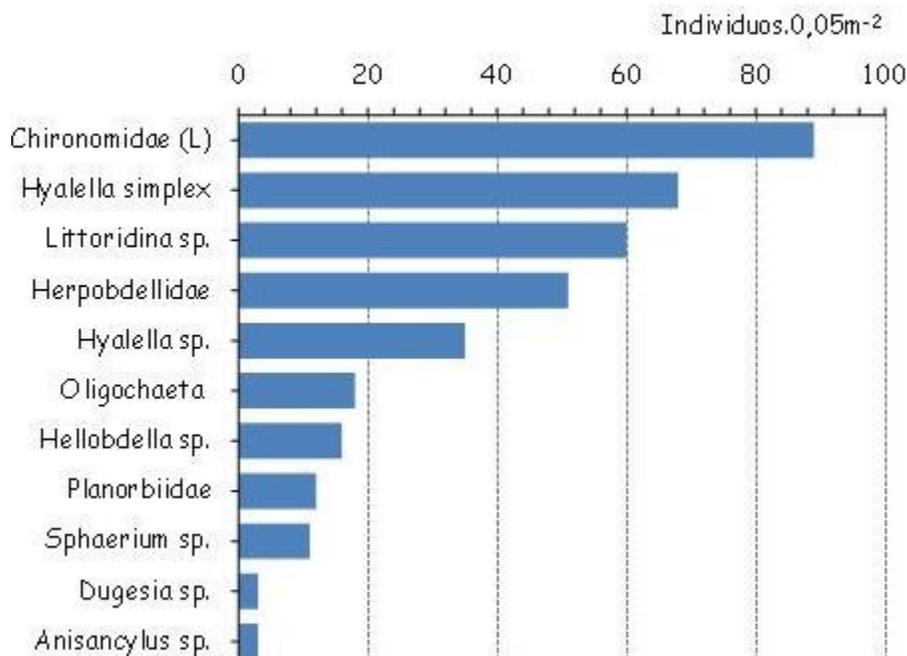


Figura 2.26.- Dominancia específica (ind.0,05m⁻²).Crucero ecológico en zonas seleccionadas del Lago Titicaca.

CONCLUSIONES

- La dominancia de Chironomidae (Diptera: Insecta) en estadio de larva en las zonas de Ramis y la bahía de Moho indican el deterioro del medio ambiente lacustre, al ser este taxón indicador del enriquecimiento del sedimento con materia orgánica
- Durante el crucero ecológico del año 2009, en las mismas zonas se reportó la dominancia de anfípodos del genero *Hyalellasp.* y bivalvos del genero *Littoridina* taxones característicos de ambientes con poca carga orgánica.Se puede concluir que estas zonas están sufriendo un enriquecimiento orgánico en los sedimentos.

Tabla 2.5.- Numero de individuos por especies de macroinvertebrados determinados en cuatro zonas del Lago Titicaca. Cr. 1104

PHYLLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	ESPECIE	JULI			RAMIS				MOHO				
					Long /	-16.12396	-16.12777	-16.14756	-15.20001	-15.19339	-16.1432	-15.1958	-15.2224	-15.3802167	-15.2222	-15.2222
					Lat.	-69.23572	-69.2338	-69.2157	-69.45472	-69.45311	-69.2122	-69.4528	-69.3157	-69.5649833	-69.3158	-69.3157
		J1	J2	J3	R1	R2	R3	R4	M1	M2	M3	M4				
PLATYHELMINTHES	TURBELLARIA	TRICLADIDA	Planariidae	<i>Dugesia</i> sp.			1						2			
MOLLUSCA	GASTROPODA	BASOMMATOPHORA	Planorbiidae	Planorbiidae									5	2		
		MESOGASTROPODA	Ancylidae	<i>Anisancylus</i> sp.			1									
	BIVALVIA	VENEROIDA	Hydrobiidae	<i>Littoridina</i> sp.	9	28	4									
ANNELIDA	OLIGOCHAETA	GLOSSIPHONIFORMES	Sphaeriidae	<i>Sphaerium</i> sp.			4		7							
	HIRUDINEA		Oligochaeta ind.	Oligochaeta ind.					1	5		9	2	1		
			Glossiphoniidae	<i>Hellobdella</i> sp.				2			5		2		2	
		Herpobdellidae	Herpobdellidae		1	22	2		1				1	8		
ARTHROPODA	CRUSTACEA	AMPHIPODA	Hyalellidae	<i>Hyalella simplex</i>	1	5	6			1				12	6	
	INSECTA	DIPTERA	Hyalellidae	<i>Hyalella</i> sp.	1		5							3	3	
			Chironomidae (L)	Chironomidae (L)			1			71					17	

.... Continuación.

PHYLLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	ESPECIE	Long / Lat.	CAPACHICA					PRODUCE	UNA	
						-15.37227	-15.3693	-15.37266	-15.3725	-15.37244	-15.86196667	-15.84626667	
						-69.4836	-69.4824	-69.48787	-69.4876	-69.4862	-69.90538333	-69.95526667	
						C1	C2	C3	C4	C5	P1	U1	
PLATYHELMINTHES	TURBELLARIA	TRICLADIDA	Planariidae	<i>Dugesia</i> sp.									
MOLLUSCA	GASTROPODA	BASOMMATOPHORA	Planorbiidae	Planorbiidae		3						1	
		MESOGASTROPODA	Ancylidae	<i>Anisancylus</i> sp.		3							
	BIVALVIA	VENEROIDA	Hydrobiidae	<i>Littoridina</i> sp.		19							
ANNELIDA	OLIGOCHAETA	GLOSSIPHONIFORMES	Sphaeriidae	<i>Sphaerium</i> sp.									
	HIRUDINEA		Oligochaeta ind.	Oligochaeta ind.									
			Glossiphoniidae	<i>Hellobdella</i> sp.			4						1
		Herpobdellidae	Herpobdellidae		5		2	1			6	2	
ARTHROPODA	CRUSTACEA	AMPHIPODA	Hyalellidae	<i>Hyalella simplex</i>		12		3	1		7	14	
	INSECTA	DIPTERA	Hyalellidae	<i>Hyalella</i> sp.		2	4	2	2		5	8	
			Chironomidae (L)	Chironomidae (L)									

DETECCIÓN ACÚSTICA Y PESCA DE RECURSOS PESQUEROS Cr 2011.

Las pesquerías artesanales están circunscritas al entorno del Lago Titicaca, siendo una actividad permanente, que provee de sustento alimenticio y económico al poblador ribereño. Durante los últimos años, las poblaciones de peces nativos han venido disminuyendo drásticamente, debido al incremento del esfuerzo pesquero, la predominancia de especies foráneas y el impacto de las actividades del hombre, generando impactos en el ecosistema con importancia en la cadena trófica del lago.

En general la ictiofauna del lago Titicaca es muy reducida. Solo tres géneros de peces, los *Orestias*, los *Trichomycterus*, que constituyen las especies endémicas del Altiplano; los géneros *Odontesthes* y *Oncorhynchus* son las especies introducidas. Las *Orestias* son las más numerosas y más de la mitad de las 43 especies se desarrollan en el Lago Titicaca (PARENTI, 1984). En los últimos tiempos la pesca del ispi ha crecido notablemente debido a la demanda como alimento para la trucha. Razón por la cual, es importante monitorear la distribución y abundancia del ispi, un recurso ictiológico muy importante para el equilibrio ambiental del lago Titicaca.

MATERIALES Y METODOS

Se realizó un muestreo acústico continuo desde el puerto de Puno a Pomata, dividiéndose el rastreo en cuatro zonas de estudio (Chucuito-Punta Churo, Península Capachica, Río Ramis-Moho y Juli-Pomata), del 03 al 14 de abril del 2011 a bordo del BIC IMARPE VIII. El diseño de los trayectos planificados fue sistemático paralelo en algunas zonas y triangular variado en otras (Fig. 2.27).

El diseño de los trayectos tuvo por finalidad evaluar la franja ribereña, dentro de las 2,5 millas. Para el rastreo acústico, se utilizó el ecosonda comercial marca Lowrance SX, en la frecuencia de 50 KHz. La información se tomó cada milla náutica (Unidad Básica de Muestreo-UBM- 1 mn), rastreándose un total de 311mn puntos. En cada UBM se anotó información de: Fecha (dd-mm-año), corredera, hora (hh-min), posición (latitud y longitud), temperatura, profundidad del lugar y observación relativa. Para la determinación de la distribución de los recursos, se utilizó una escala relativa compuesta de cuatro ítems utilizada también para el crucero realizado el 2009 (Figura 2.28). Para la distribución geográfica de los recursos se utilizó un software interpolador de datos Surfer.



Fig. 2.27.- Mapa de rastreo acústico (Cr. 1104)

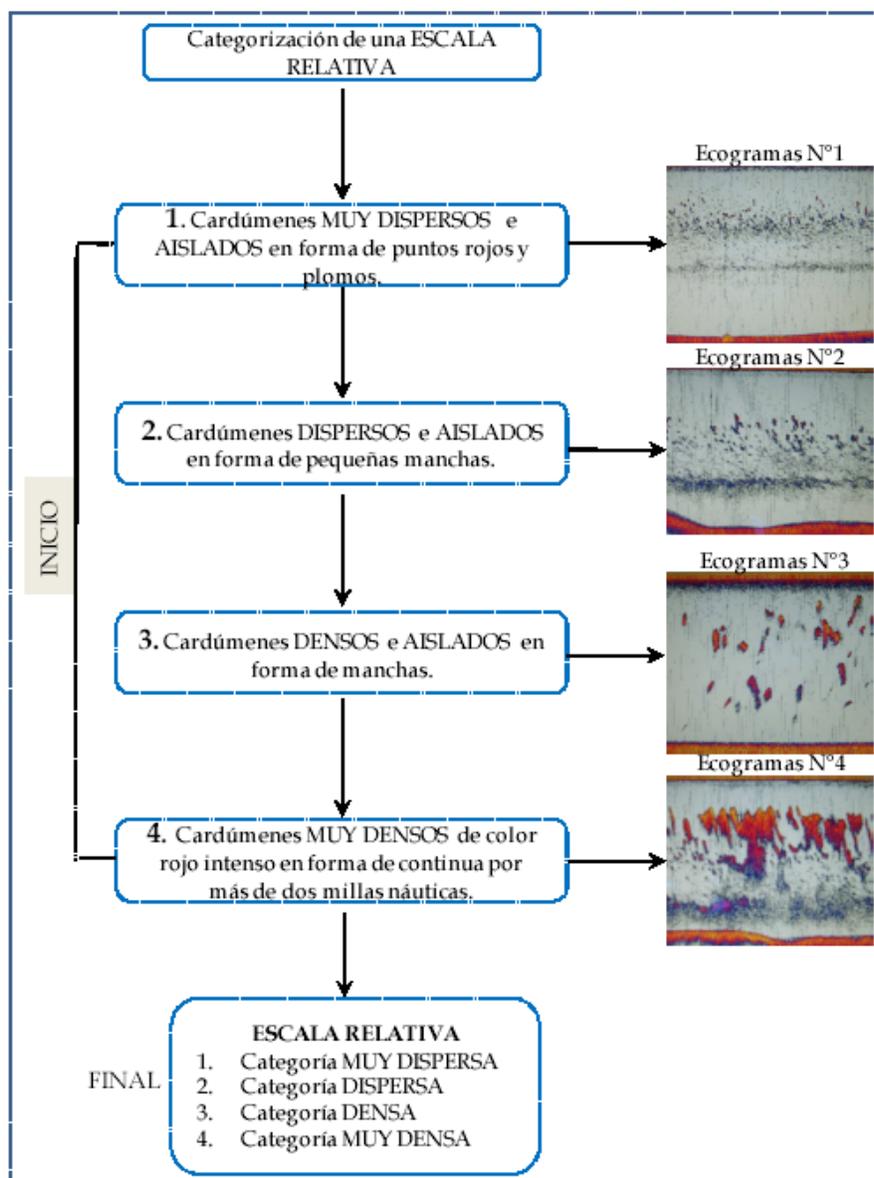


Fig. 2.28.- Categorización de la concentración de peces en la columna de agua. Cr. 1104

RESULTADOS

Distribución de los recursos pesqueros

En casi toda el área evaluada se detectó cardúmenes de recursos pesqueros. La especie que se registró en mayor frecuencia fue el ispi, lo cual fue comprobado con los reportes de pesca y con información *in situ* de los pescadores. En la zona de la Península de Chucuito se observa un núcleo de tipo “denso” cercano a la punta de Churo, que correspondería al ispi. En la zona de Parina y Llachón se determinó concentraciones de tipo “disperso”. En la zona de Capachica la abundancia de peces fue de tipo “muy disperso” a “disperso”; la especie correspondería al ispi y/o pejerrey, esto debido a las capturas reportadas en las pescas experimentales. En la zona de Huancané – Moho se determinó tres núcleos de tipo “denso”, el más importante en Jonsani, seguido de la desembocadura del río Ramis y un tercero en la zona de Moho. En la

zona de Pusi se determinó de tipo “disperso”. En la zona de Juli – Pomata tres núcleos de tipo “muy disperso” los cuales corresponderían al ispi y/o truchas (Fig. 2.29).

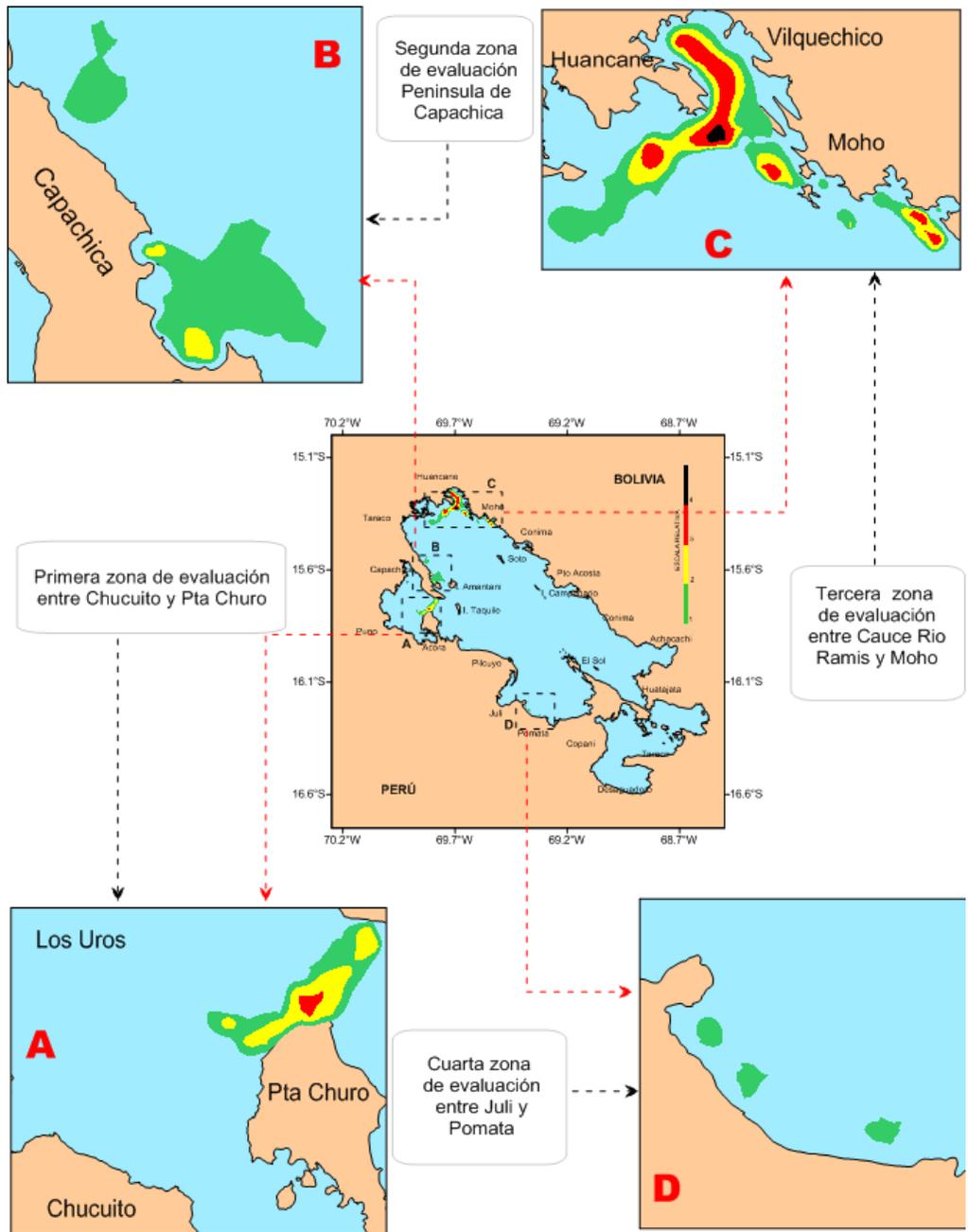


Fig. 2.29.- Distribución y concentración relativa de los recursos pesqueros en cuatro zonas seleccionadas del Lago Titicaca (Cr. 1104). Detección ecosonda Lowrance200khz.

Operaciones de pesca según zonas)

Zona Bahía de Puno – Capachica (Llachón) (Fig. 2.30): Se extendieron redes experimentales del IMARPE y PELT de diferentes tamaños de malla. Colocando la primera red a 20 m de profundidad, iniciándose a las 13:15 horas. Así mismo, se colocaron redes del IMARPE en la misma zona de pesca, estas fueron cobradas al día siguiente a las 19:10 horas. Las posiciones geográficas de arreado e izado fueron las siguientes 15°44'33"S y 69°48'36"W - 15°44'31"S y 69°49'02"W (Fig. 2.17).

Las redes experimentales monofilamento de nylon (tipo "NORDEN BENTIC") tienen una longitud de 30 m y 1,5 m de altura y están armadas con 12 paños de red (de 2,5 m) con luces de malla combinadas al azar de 5; 6,25; 8; 10; 12,5; 15,5; 19,5; 24; 29; 35; 43 y 55 mm denominadas FONCHIP - bentónica. Capturaron las siguientes especies: "carachi amarillo" *Orestias luteus* 234 unidades, "carachi gris" *Orestias agassii* 09 unidades, "ispi" *Orestias ispi spp* 16 unidades, "picachu" *Orestias imarpe* 252 unidades, "mauri" *Trichomycterus dispar* 02 unidades, "carachi albus" *Orestias albus* 04 unidades y "carachi gringo" *Orestias mulleri* 74 unidades.

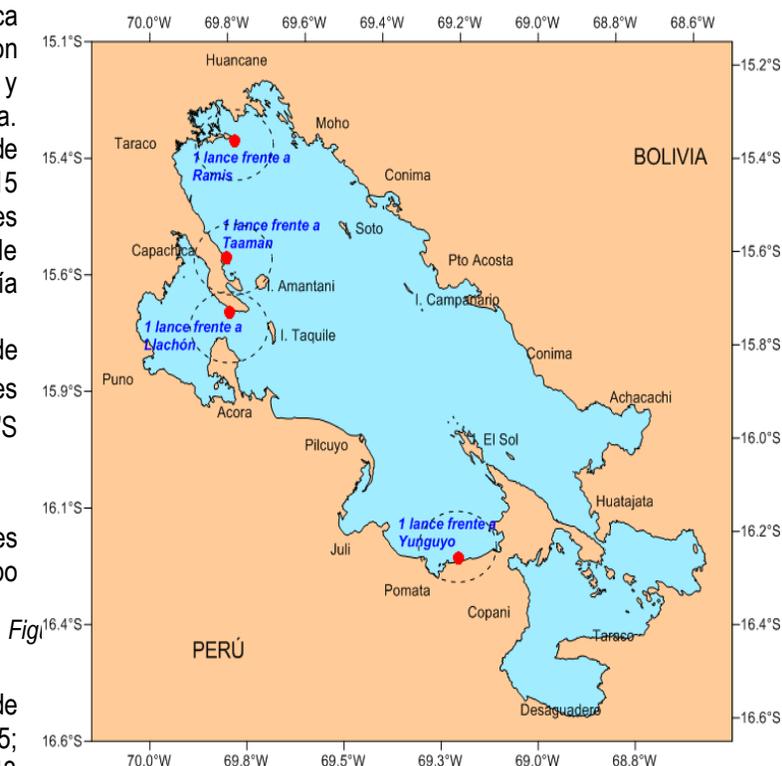


Figura 2.30.- Zona de pesca con red cortina en cuatro zonas del Lago Titicaca (Cr. 1104)

La segunda red experimental FONCHIP - pelágica con las mismas denominaciones anteriores, capturaron lo siguiente: "carachi amarillo" *Orestias luteus* 25 unidades, "picachu" *Orestias imarpe* 02 unidades, "ispi" *Orestias ispi spp* 2410 unidades y "carachi gringo" *Orestias mulleri* 08 unidades.

El tercer bloque de redes IMARPE y PELT, capturaron:

Individuos de 25 mm de diámetro: 02 unidades de "pejerrey".

Individuos de 38 mm de diámetro: 07 unidades de "carachi amarillo", 01 unidad de "carachi albus" 01 unidad de "carachi gris"

Individuos de 44 mm de diámetro: 08 unidades de "carachi amarillo"

Individuos de 44 mm de diámetro (pescador): 48 unidades de "carachi amarillo", 03 unidades de "carachi albus", 02 unidades de "carachi gris" y 02 unidades de "mauri"

Las redes del PELT capturaron 28 unidades de "carachi gringo".

Zona Capachica – (Taman): En esta zona se colocaron las redes experimentales de FONCHIP (bentónicas y pelágicas), del PELT y del IMARPE, iniciándose las operaciones de calado a las 16:30 horas, y el cobrado al día siguiente entre las 06:15 horas a 07:00 horas, con una permanencia de 13 horas y 30 minutos.

Las redes de FONCHIP – Pelágicas capturaron lo siguiente: 1199 unidades de “ispi”, 02 unidades de “pejerrey” con tallas 20,9 y 15,9 cm y “carachi gringo” 02 unidades de 6,2 y 5,5 cm de longitud.

Redes de FONCHIP – bentónicas capturó 01 unidad de “mauri” de 12,8 cm de longitud.

Redes de IMARPE capturó:

Individuos de 25 mm de diámetro: 01 unidad de “pejerrey” de 19,6 cm de longitud, 03 unidades de “carachi gringo”.

Individuos de 44 mm de diámetro: 01 unidad de “pejerrey” de 23,1 cm de longitud.

Individuos de 38 mm de diámetro: 01 unidad de “pejerrey” de 27,6 cm de longitud.

Redes del PELT 02 unidades de “pejerrey” de 18,7 y 18,9 cm de longitud.

Zona Moho – Ramis: En esta zona se colocaron las redes experimentales de FONCHIP (bentónicas y pelágicas), redes del PELT y del IMARPE, la operación de calado se inició a las 15:50 horas, realizando el cobrado al día siguiente entre las 06:10 a 06:40 horas, con una permanencia de 13 horas y 50 minutos.

En esta operación de pesca se capturó lo siguiente:

Las redes de FONCHIP – Pelágica y bentónica capturó 01 unidad de “ispi” de 7,7 cm de longitud la primera y 07 unidades de “carachi amarillo” y 13 unidades de “picachu” la segunda respectivamente.

Las redes del IMARPE capturaron:

Individuos de 44 mm de diámetro: 03 unidades de “pejerrey” de 23,2; 25,1 y 25,9 cm de longitud.

Individuos de 38 mm de diámetro: 17 unidades de “pejerrey” entre un rango de 19,0 a 28,7 cm de longitud.

Con las redes del PELT: 02 unidades de “pejerrey” cuyos rangos se encontraban entre los 18,7 a 26,3 cm de longitud

En Ramisse colocaron las redes experimentales de FONCHIP (bentónicas y pelágicas) y del IMARPE, siendo estas caladas a las 10:15 horas, terminando la operación de pesca a las 12:45 horas del mismo día, con una permanencia de 02 horas, se capturó un total de 67 individuos de “pejerrey” con un rango de tallas de 13,4 hasta 25,7 cm de longitud.

Zona - Yunguyo: Se calaron las redes experimentales de FONCHIP (bentónicas y pelágicas), y del IMARPE, iniciándose la labor a las 17:30 horas, siendo cobradas las redes al día siguiente a las 05:30 horas finalizando a las 05:55 am, con una permanencia de 12 horas y 25 minutos.

La efectividad de pesca de las redes de FONCHIP - pelágica fue de 01 unidad de “carachi amarillo” de 6,8 cm de longitud, 01 unidad de “carachi gris” de 7,7 cm de longitud y 60 unidades de “pejerrey”

Con la red de FONCHIP- bentónica, se capturó 03 unidades de “carachi gris”, 01 unidad de “mauri” de 10,4 cm de longitud y 27 unidades de “pejerrey”

Las redes de IMARPE capturaron:

Individuos de 25 mm de diámetro: 06 unidades de “pejerrey” de 22,4; 20,3; 15,6; 15,9; 16,7 y 14,9 cm de longitud. Individuos de 35 mm de diámetro: 06 unidades de “carachi gris” y 01 individuo de “pejerrey” de 28,7 cm de longitud. En las redes del PELT se logró capturar 02 unidades de “pejerrey” de 26,3 y 18,7 cm de longitud.

Metales pesados en sedimentos y tejido de peces

Para el estudio de traza de metales en sedimentos, ante la ausencia de legislación nacional, se adoptó los valores guía de Canadá (CCME, 2002): Niveles Guía Provisorios de Calidad de Sedimentos (ISQGs) y Concentración de Efecto Probable (PEL). Las pautas de calidad para la protección de biota sugeridas para sedimentos de agua dulce por Environment Canadá consideran: a) Valores menores al ISQGs: concentraciones raramente asociadas con efectos biológicos adversos; b) Valores mayores al ISQGs y menores a la PEL: concentraciones ocasionalmente asociadas a efectos biológicamente adversos; c) Valores mayores a la PEL: concentraciones frecuentemente asociadas a efectos biológicamente adversos.

Se colectaron 22 muestras de sedimentos mediante una draga tipo Van Ven de 0,05 m² de área cobertura para determinación de arsénico y mercurio. Así también se obtuvieron muestras de tejido muscular de trucha, pejerrey y carachi, para la determinación de traza de metales (arsénico y mercurio). Los resultados obtenidos indican una alta concentración de arsénico en las zonas de Ramis (19,84 mg/kg) y Capachica (12,23 mg/kg) que superan el valor establecido en el ISQGs (5,9 mg/kg) pero se sitúan por debajo de las concentraciones de efecto probable (PEL= 17,0 mg/kg) para el caso de Capachica, mientras que la zona de Ramis presentó valores por encima del PEL, presentando esta zona condiciones críticas para la protección de la vida acuática, condición que se corrobora con los resultados obtenidos en noviembre del 2010 como parte de los estudios de contaminación y cruce de caracterización ecológica del 2009, en la zona de la desembocadura del río Ramis. Mientras que el mercurio presentó las concentraciones más elevadas en la zona de Ramis pero que no superan el valor establecido en el ISQG (0,17 mg/kg) ni de las concentraciones de efecto probable (PEL= 0,486 mg/kg)

BIBLIOGRAFIA GENERAL

Acleto O. 1966. Algas de agua dulce de las cascadas de barranco. Publicaciones del Museo de Historia Natural "Javier Prado". No. 21. 171 pp.

APHA. 1992. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales, 17 Edición. Editores Díaz de Santos S.A. Madrid. 1816 pp.

Baird C. 2004. Química ambiental.: Editorial Reverté S.A. Barcelona. 622 pp.

Brinkhurst, R. 1974. The benthos of lakes. First edition. The Macmillan Press LTD, Great Britain. 190pp. Estudios Biológicos, S.L.

Brönmark C, Hansson L. 2005. The biology of lakes and ponds, 2nd ed. United State: Oxford University Press Inc., New York. 285 pp.

Delome, L.D. 1991. Ostracoda. In: J.H. Thorp y A.P. Covich (eds) Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates. Academic Press Inc. San Diego, California. pp. 691-722.

Domenèch X, Peral J. 2006. Química ambiental de sistemas terrestres. Editorial Reverté S. A. Barcelona. 210 pp.

Fontúrbel F. Evaluación preliminar de la calidad hídrica, mediante indicadores fisicoquímicos y biológicos, en la Bahía de Cohana, Lago Titikaka, (Departamento de La Paz, Bolivia). Centro de Estudios de Postgrado e Investigación (CEPI) de la Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Sucre (Bolivia).

Fontúrbel F. 2003. Algunos criterios biológicos sobre el proceso de eutrofización a orillas de seis localidades del lago Titikaka. *Revista de Ecología Aplicada UNAL*, 2, 75-79.

Fontúrbel F. 2004. Modelo operacional ambiental y aspectos sociales relevantes del proceso de eutrofización localizada en cuatro estaciones experimentales del lago Titikaka. Publicaciones integrales. La Paz. 241 p.

García de Bikuña, B. 1988. Importancia ecológica y biogeográfica de los anfípodos (Crustacea) de las aguas superficiales de Bizkaia. *Actas del Congreso de Biología ambiental. 11 Congreso Mundial Vasco*. Servicio editorial de la U.P.V, Bilbao. pp. 137-148.

García de Jalón, D. y M. González del Tanago. 1986. *Métodos biológicos para el estudio de la calidad de las aguas. Aplicación a la cuenca del Duero*. Icona-Monografías. 244 pp.0001
GUADALMED. *Limnetica*, 21: 149-173.

Haas, F. 1955. The Percy Sladen Trust expedition to Titicaca Lake in 1937.XVII. Mollusca. Gastropoda. *Trans. Linn Soc. Lond.*, 100(2) Part 3, 275-308.

Iltis A., Carmouze, J. P., Lemoalle, J. 1991. Características físico-químicas del agua. En: Dejoux, C. & A. Iltis (eds.), *El Lago Titicaca: síntesis del conocimiento limnológico actual*. La Paz: Hisbol - ORSTOM. 584 pp.

Instituto del Mar del Perú. 2009. Caracterización bio-ecológica en zonas litorales seleccionadas del lago Titicaca. Lima – Perú.

Johnson, R., T. Wieclerholm & M. Rosemberg. 1993. Freshwater biomonitoring using individual organisms, populations, and species assemblages of benthic macroinvertebrates, 40 _ 158. *In: D. Rosenberg and V. Resh (Eds.). Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. 448. Chapman & Hall, New York.
Margalef R. 1983. *Limnología*. Ediciones Omega S. A. Barcelona. 1009 pp

Marqués, M., E. Martínez-Conde y J. Rovira. 2001. Los macroinvertebrados como índices de evaluación rápida de ecosistemas acuáticos contaminados por metales pesados. *Eco.Env. Rest.* 4: 25-31.

McCafferty WP. 1981. *Aquatic entomology: the fisherman's and ecologists' illustrated guide to insects and their relatives*. Boston, MA: ScienceBooks International, Inc.

Moreno, C. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M & T. Manuales y Tesis. SEA, Vol. 1. Zaragoza, 84 pp.

Northcote T. 1991. Eutrofización y problemas de polución. En: Dejoux C. & A. Iltis (eds.), *El Lago Titicaca: Síntesis del Conocimiento Limnológico Actual*. Hisbol-Orstom, La Paz:563-572.

Northcote, T. 1991. Contaminación. En: Dejoux, C. & A. Iltis (eds.), *El Lago Titicaca: síntesis del conocimiento limnológico actual*. La Paz: Hisbol - ORSTOM. 584 pp.

Oldepesca. 1987. contribución al conocimiento del fitoplancton del lago Titicaca. Documento de pesca 003. Organización Latinoamericana de Desarrollo Pesquero. Lima – Perú. 82 pp.

Parenti L. 1984. A taxonomic revision of the andean killifish Genus *Orestias* (Cyprinodontiformes, Cyprinodontidae). *Bulletin of the American Museum of Natural History*. Volume 178 (2): 110:191.

Pinilla G. 2000. Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia. Edit. Univ. Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Edic. Marzo, 68 pp.

Robinson, C.T., U.R. S. Uehlinger & M. T. Monaghan. 2004. Stream ecosystem response to multiple experimental floods from a reservoir. *River Res. Applic.*, 20: 359-377.

Roldán P G A, Ramírez R J J. 2008. Fundamentos de limnología neotropical, 2da edición. Imprenta Universidad de Antioquia. Colombia. 440 pp

Roldan, G. 2003. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Editorial Universidad de Antioquia. 165pp.
Rosenberg, D. & V. Resh. 1993. Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Chapman & Hall (Eds.). 488 pp.

Streble, H. y D. Krauter. 1987. Atlas de los microorganismos de agua dulce. Ediciones Omega S.A. 357pp.

Terrel C. & Bytnar P. 1996. Water quality indicators guide. Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque.

Tutin T. G. 1940. The Algae. In: Reports of Percy Sladen Trust Expedition to Lake Titicaca. 1937. *Trans. Linn. Soc. London*, 3^é ser., 1(11):191-202.

Valdovinos, C. & R. Figueroa. 2000. Benthic community metabolism and trophic conditions of four South American lakes. *Hydrobiologia*. 429: 151-156.

Vidal.- Abarca, C. Zamora-Muñoz & G. Moyá. 2002. Aproximación multivariante en la exploración de la tolerancia ambiental de las familias de macro-invertebrados de los ríos mediterráneos del proyecto.

Vivas, S., J. Casas, I. Pardo, S. Robles, N. Bonada, A. Mellado, N. Prat, J. Alba-Tercedor, M. Alvarez, M. R. Wetzel R G, 1981. *Limnología*. Ediciones Omega S. A. Barcelona. 605 pp.

Williams, D.D. y Feltmate, W., 1992. *Aquatic Insects*. C.A.B. International. Wallingford, Oxon.

MEJORA DE LA COMPETITIVIDAD DE LA MEDIANA Y PEQUEÑA ACUICULTURA

Componente 3

MONITOREO LIMNOLÓGICO DE LOS PRINCIPALES PARAMETROS FISICOQUÍMICOS EN ZONAS SELECCIONADAS DEL LAGO TITICACA Y OTROS ESPEJOS DE AGUA CON FINES DE ACUÍCULTURA

Puno, Diciembre del 2011

Información sobre la temperatura superficial del lago (TSL) y oxígeno disuelto superficial en estaciones fijas del lago Titicaca

El estudio comprende el registro diario a nivel superficial de temperatura y concentración de oxígeno disuelto en la estación de Muelle Barco, mientras que en las estaciones de Ramis y Juli diariamente se registró la temperatura superficial (Fig. 3.1). Las mediciones de temperatura superficial del lago (TSL) se realizaron en zona de orilla, mediante el uso de un termómetro de mercurio protegido con rango de -8 a 32 °C y 0,1 °C de precisión, en tres turnos (08:00, 12:00 y 17:00 horas). La concentración de oxígeno disuelto se determinó siguiendo la metodología de WINKLER modificado por CARRIT y CARPENTER 1966 (APHA, 1992), las muestras se colectaron al medio día. A partir de octubre, adicionalmente a la estación Muelle Barco, se consideró como estación limnológica el Muelle Puno. Se obtuvo reportes diarios del SENAMHI sobre el nivel hídrico del lago y precipitaciones.

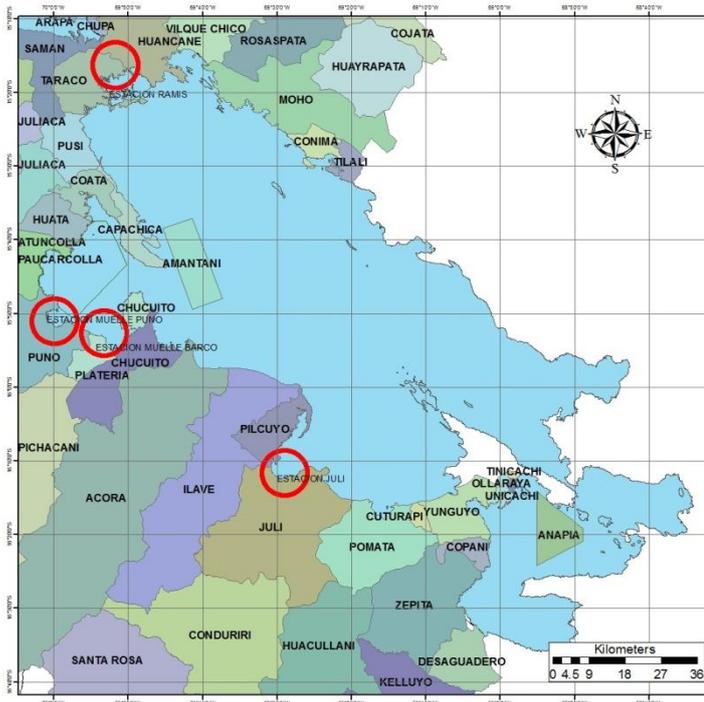


Figura 3.1.-Ubicación geográfica de las estaciones fijas en el lago Titicaca

Temperatura.-

El comportamiento térmico superficial del Lago en las estaciones fijas durante el 2010 mostró valores superiores al patrón del SENAMHI (datos observados entre los años 1996 y 2003), así como a los valores registrados por el LCP durante el 2009 en la mayoría de los meses evaluados. En la estación Juli, a partir de octubre se apreció un calentamiento menor de la superficie del lago respecto a lo observado en el 2009, mientras que en la estación Ramis, el régimen térmico a inicios del verano se presentó muy por debajo del patrón y los registros del 2009, pero con una curva pronunciada que alcanzó rápidamente su máximo valor en marzo, a partir de septiembre hasta diciembre se notó un periodo de casi isoterma en la superficie del lago, encontrándose con más de 2 °C debajo de los valores registrados y en 2009, pero cercano al patrón histórico. Pese a estas diferencias, se apreció claramente que el comportamiento térmico en la superficie del lago presenta estrecha relación con las variaciones meteorológicas que rigen el ciclo hidrológico en el altiplano, con un periodo de enfriamiento en los meses fríos y secos.

En la estación de Muelle Barco, hasta septiembre, se obtuvo una media de 15,4°C, con una anomalía positiva de 0,8°C. La TSL más baja fue de 11,4°C, registrada el 30 de junio (Fig. 3.2). Las estaciones fijas de Juli y Ramis siguen el mismo comportamiento térmico estacional de Muelle Barco, registrando para Juli una media anual de 15,5°C, con una anomalía positiva de 0,9°C. La TSL más baja fue de 11,8°C, registrada el 30 de junio. Mientras que Ramis alcanzó una media anual de 15,7°C, con una anomalía positiva de 1,1°C. La TSL más baja fue de 12,0 °C, registrada en junio. Para el último trimestre la estación de Muelle Barco fue reemplazada por la estación de Muelle Puno, siendo el promedio de la TSL de octubre a diciembre de 17,9 °C, con una anomalía de +2,6.

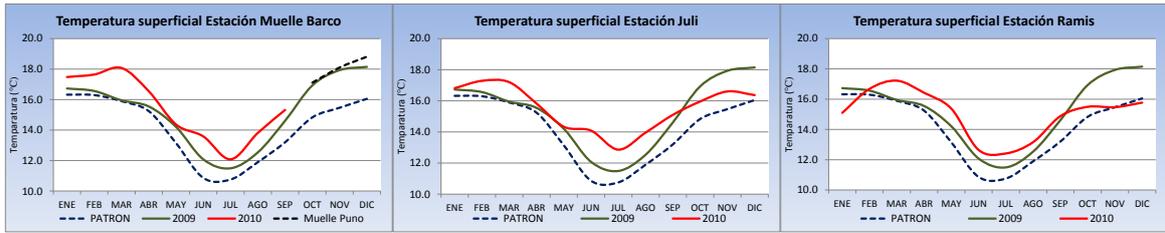


Fig. 3.2.- Variación temporal de la temperatura superficial del lago en las estaciones fijas Muelle Puno, Juli y Ramis durante el 2010.

Durante el 2011 (agosto), el comportamiento térmico superficial del lago en las estaciones fijas mostró diferencias marcadas, así en la estación Muelle Puno la TSL mostró la mayor fluctuación de temperatura, registrándose los valores más bajos (7,8 °C); en la estación Juli la TSL presentó valores bajos entre julio y agosto, presentando una fluctuación similar a los registros del 2010, mientras que en la estación Ramis los valores de TSL registrados mostraron cierta estabilidad, incrementándose ligeramente a partir de agosto. La Figura 3.3 muestra el comportamiento de la temperatura superficial del lago (TSL) para este periodo, siendo el promedio para la estación Muelle Puno de 15,7°C, con una anomalía de +1,9 con respecto al patrón de SENAMHI, para la estación de Juli fue de 15,2°C, con una anomalía de +1,4 y para la estación de Ramis fue de 15,1°C, con una anomalía de +1,3.



Fig. 3.3.- Variación temporal de la temperatura superficial del lago en las estaciones fijas Muelle Puno, Juli y Ramis, tercer trimestre 2011.

La Figura 3.4 muestra las variación de la temperatura del aire entre enero y septiembre del 2011, datos registrados en la estación meteorológica de IMARPE en la ciudad de Puno (15° 50' 0,1" S y 70° 00' 9,0" W) y su relación con la variación de la temperatura superficial del lago en Muelle Puno (TSL). La temperatura del aire registró valores medios entre 5,4 °C y 14,9 °C alcanzando un promedio de 10,9 °C, mientras que la TSL registró valores extremos de 9,7 °C y 19,9 °C. El enfriamiento de la capa superficial del lago, en muelle Puno se inicio a



Fig. 3.4.- Variación de la temperatura del aire y de la superficie del lago en la estación Muelle Puno

partir de mayo, registrándose los menores valores en julio, a partir agosto se apreció el incremento progresivo de la temperatura superficial del lago.

Oxígeno disuelto.-

La concentración de oxígeno disuelto a nivel superficial durante el 2010 presentó oscilaciones en el transcurso de los días de observación (Figura 3.5), con marcadas diferencias en el año, que se reflejan en la disminución de oxígeno disuelto en periodos

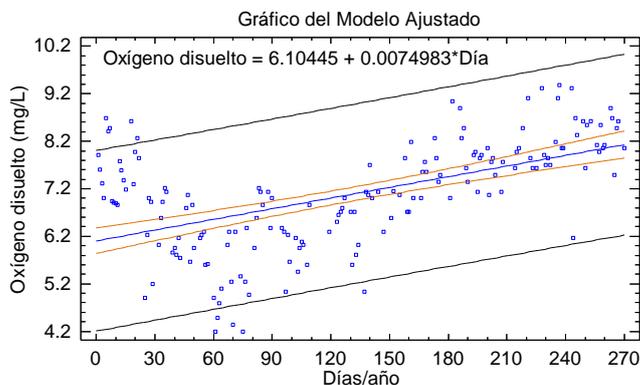


Fig. 3.5.- Regresión simple entre Oxígeno disuelto (mg/L) vs tiempo (días) en la estación Muelle Barco.

cálidos y lluviosos (min.=4,2 mg/L), y un significativo incremento en meses fríos, secos y ventosos (máx.=9,38). En enero se observó también altas concentraciones de oxígeno que bordearon los 9,0 mg/L.

La Figura 3.6, describe el modelo lineal ajustado para el oxígeno disuelto y la temperatura a nivel superficial, mediante la ecuación $O_2 = 10.6092 - 0.225826 \cdot T$. El cálculo del análisis de varianza estimó un valor-P <0,05, por tanto existe una relación estadísticamente significativa entre oxígeno disuelto y temperatura al 95.0% de confianza. El coeficiente de correlación (CR= -0.43), indica una relación relativamente débil entre las variables, con una $R^2 = 18.55\%$.

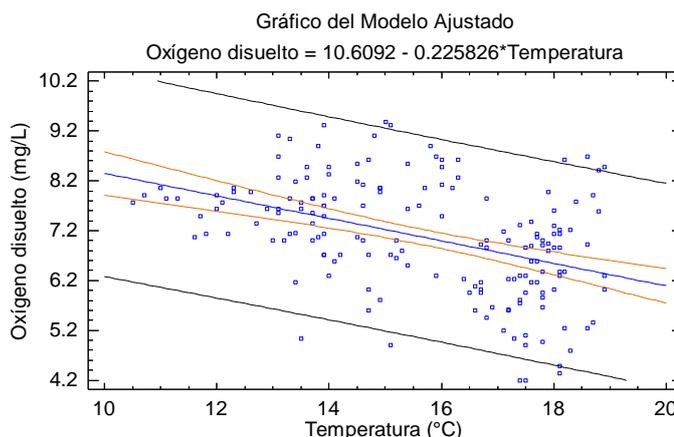


Fig.3.6.- Regresión simple entre Oxígeno disuelto (mg/L) vs Temperatura (°) en la estación Mulle Barco.



Fig. 3.7.- Variación de la temperatura del aire y de la superficie del lago en la estación Muelle Puno

Para el 2011 el oxígeno disuelto en este período, registró un valor promedio de 9,32 mg/L, con variaciones de 4,93 mg/L a 11,61 mg/L. Hasta agosto se presentaron periodos de sobresaturación de oxígeno principalmente en enero y agosto (Figura 3.7). Esta condición estaría influenciada por la alta actividad fotosintética que presenta la bahía interior de Puno, producto de la abundante vegetación sumergida, así como de la influencia de los aireadores instalados en la proximidad del Muelle Puno.

Nivel hídrico y precipitaciones.-

En la Figura 3.8, se puede apreciar la variación del ciclo hidrológico de las lluvias durante el 2010. Tuvo un comportamiento multimodal inverso, con un máximo en verano y primavera, y un periodo de sequía entre junio y septiembre que se vio alterado por las precipitaciones atípicas suscitadas en agosto. Según registros de SENAMHI (estación Puno) las precipitaciones acumularon desde febrero un total 479,9 mm, con una máxima de 192,8 mm (febrero). Esta característica pluviométrica se refleja en el nivel hídrico del lago, que entre enero y marzo presentó un fuerte incremento, alcanzando su máxima cota (3809,35 m.s.n.m.) a mediados de marzo; a partir de abril se observó un descenso suave de su nivel hasta mediados de noviembre, presentándose luego un periodo de estabilidad que se prolongó hasta finales del año. Respecto al patrón de SENAMHI (datos observados entre 1920 a 2009) el nivel del lago al 30 de diciembre se encontró a 0,49 m por debajo del patrón histórico del mismo mes.

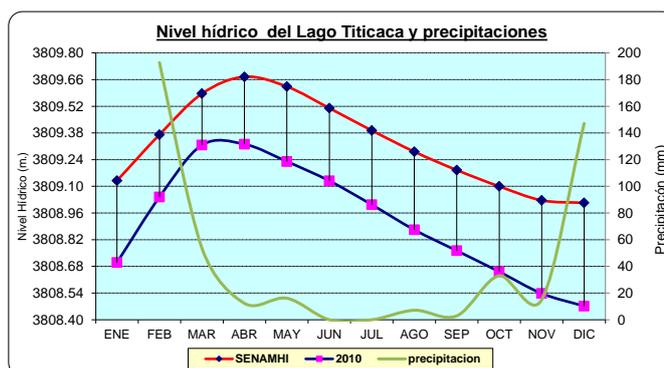


Fig. 3.8.- Fluctuación del nivel hídrico del lago Titicaca y precipitaciones durante el tercer trimestre del 2011.

Hasta septiembre del 2011 el nivel hídrico del lago presentó una cota máxima de 3808,750 m (Figura 3.9), mostrando una curva descendente a partir de abril, situación que coincide con el régimen hidrológico anual que se presenta en la región. Respecto al promedio de las observaciones del SENAMHI (1920 a 2010) para el mismo mes (3809,180 m), el nivel del lago se encontró en -0,43 m. Las precipitaciones para este período acumularon un total 561,3 mm, con una precipitación máxima en 24 horas de 28,2 mm (febrero), según datos recopilados de SENAMHI (Estación C.P. Puno).

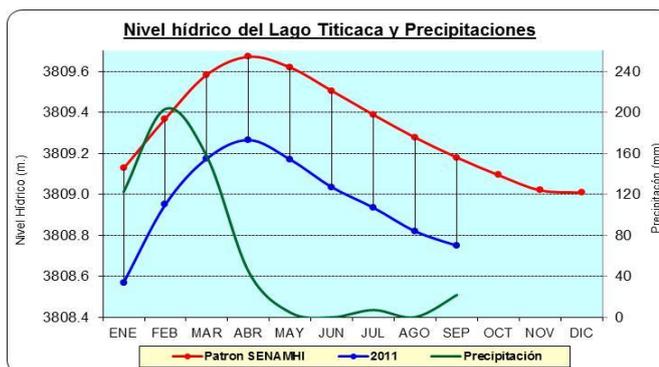


Fig. 3.9.- Fluctuación del nivel hídrico del lago Titicaca y precipitaciones durante el tercer trimestre del 2011.

Monitoreo limnológico de los principales parámetros físicos y químicos en zonas seleccionadas del Lago Titicaca

En base a la información obtenida en prospecciones ejecutadas en los años 2004 - 2008, cruceros de evaluación hidroacústica de biomasa de los principales recursos pesqueros 2006, 2007 y 2008, registros de zonas de ejecución de actividades acuícolas y otros estudios, se seleccionaron tres zonas de muestreo (ubicadas en el margen derecho del lago (Figura 3.10): Muelle Barco – Chucuito (zona de importancia pesquera y acuícola), desembocadura del río Ramis (zona de pesca y de mezcla de aguas rio-lago) y Juli (zona de importancia pesquera y acuícola).

Dependiendo de la profundidad de la zona se tomaron muestras de agua a uno (superficie) o dos niveles (superficie y fondo) de profundidad. El monitoreo comprendió las siguientes determinaciones: Temperatura del agua, concentración de oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica, transparencia, dióxido de carbono, alcalinidad total, dureza total, cloruros, nutrientes, sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos totales y clorofila-a. Adicionalmente, se colectaron muestras de plancton con la finalidad de caracterizar las comunidades fito y zooplanctónicas presentes en las áreas en estudio.

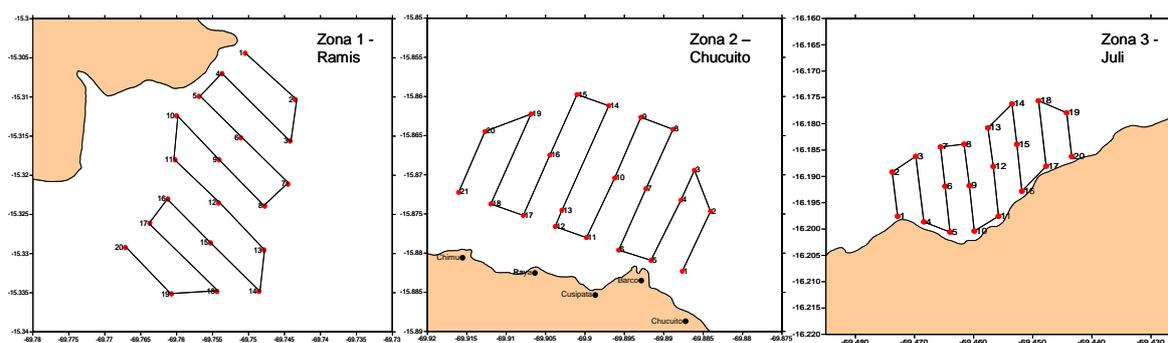


Fig.3.10.- Ubicación geográfica de zonas seleccionadas en el lago Titicaca, para el monitoreo limnológico.

Durante el 2010 se realizaron dos prospecciones limnológicas en las zonas seleccionadas, se evaluaron un total de 61 estaciones de muestreo, distribuidos en Ramis, Chucuito y Juli de 20, 21, 20, respectivamente.

Aspectos fisicoquímicos

Zona Ramis: La Tabla 3.1 muestra el resumen estadístico de los parámetros fisicoquímicos analizados en marzo del 2010. El ambiente lacustre, entre marzo y noviembre 2010, registró temperaturas promedio que oscilaron entre 16,7° y 15,6°C respectivamente. A 10 metros de profundidad el gradiente térmico varió entre 16,0°C (marzo) y 14,8°C (noviembre). El oxígeno disuelto en superficie presentó valores promedio 6,0 mg/L (marzo) y 5,9 mg/L (noviembre) y a 10 m de profundidad varió entre 5,6 y 5,3 mg/L, entre marzo y noviembre.

El pH registró valores comprendidos entre 9,0 (marzo) y 8,4 (noviembre). La alcalinidad expresada en mg/L CaCO₃, se encontró en el rango de 128 a 146 mg/L. La estabilidad de este parámetro constituye la base fundamental del sistema amortiguador del agua, para mantener estable el valor de pH. Según los resultados de dureza y conductividad eléctrica la zona de Ramis presenta aguas entre *duras* y *muy duras*. La concentración de sólidos totales disueltos y suspendidos, en la mayoría de las estaciones superaron los límites máximos permitidos para la protección de la vida acuática en cuerpos de agua dulce. Respecto a los nutrientes, el contenido de nitritos no excede los criterios para protección de la vida acuática, los nitratos presentaron concentraciones entre 0,32 mg/L (marzo) y 0,05 mg/L (noviembre). La concentración de fosfatos se encontró por encima del valor máximo recomendado y más bien favorecen el desarrollo de especies biológicas indeseables y la eutrofización.

Zona Chucuito: El ambiente lacustre entre marzo y noviembre registró temperaturas promedio que oscilaron entre 18,1° y 15,8°C respectivamente (Tabla 3.2). A la profundidad de 10 metros, el gradiente térmico varió entre 16,9°C (marzo) y 15,1°C (noviembre). El oxígeno disuelto en superficie presentó valores promedio de 6,8 mg/L (marzo) y 6,8 mg/L (noviembre); entre marzo y noviembre, a 10 m de profundidad, varió entre 6,8 y 6,0 mg/L. El pH registró valores comprendidos entre 9,3 (marzo) y 8,5 (noviembre). La alcalinidad expresada en mg/L CaCO₃, se encontró en el rango de 138,0 a 143,0 mg/L, con valores muy similares a la zona de Ramis.

Tabla 3.1.- Resumen estadístico de los principales parámetros fisicoquímicos evaluados en Ramis en marzo y noviembre del 2010.

Resúmenes de casos																			
Mes	Lance (m)	Media	Desv. tip.	Transparencia (m)	Temperatura (°C)	pH	Oxígeno disuelto (mg/L)	Alcalinidad total (mg/l)	Dureza total (mg/L)	Dióxido de carbono (mg/L)	Cloruros (mg/L)	Conductividad eléctrica (µS/cm)	Sólidos totales disueltos (mg/L)	Sólidos totales suspendidos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Silicatos (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Clorofila "a" (mg/m ³)
Marzo	Superficie	Media	.62	17,67	9,03	6,02	128,00	279,59	5,63	194,74	1034,70	527,55	44,43	.077	2,766	.009	.318	.571	
		Desv. tip.	.29	.85	.19	.62	10,05	44,48	1,24	64,58	292,54	155,72	12,76	.035	1,599	.006	.197	.318	
	10 metros	Media		16,03	9,27	5,34	132,00	304,38	5,15	246,00	1341,50	668,60	36,95	.057	1,018	.005	.209	.382	
		Desv. tip.		.14	.18	.90	10,33	13,49	.91	21,19	26,27	11,09	13,20	.008	.153	.002	.119	.166	
	Total	Media	.62	17,13	9,11	5,80	129,33	287,85	5,47	212,41	1136,97	574,57	41,93	.070	2,142	.008	.279	.504	
		Desv. tip.	.29	1,04	.22	.78	10,15	38,65	1,15	58,65	279,15	143,17	12,95	.030	1,528	.005	.176	.282	
Noviembre	Superficie	Media	3,24	15,60	8,39	5,85	146,00	379,62	8,20	310,00	1549,70	774,90	18,27	.045	.877	.006	.052	.922	
		Desv. tip.	1,02	.53	.10	.82	11,42	26,95	1,28	42,30	148,23	74,29	8,46	.013	.189	.001	.010	.277	
	10 metros	Media		14,80	8,41	5,64	144,00	389,88	8,20	318,00	1598,10	798,90	12,32	.048	.764	.006	.072	.694	
		Desv. tip.		.16	.04	.54	8,43	21,02	.63	14,76	1,10	.74	8,34	.016	.085	.001	.037	.299	
	Total	Media	3,24	15,33	8,40	5,78	145,33	383,04	8,20	312,67	1565,83	782,90	16,28	.046	.846	.006	.057	.853	
		Desv. tip.	1,02	.58	.08	.74	10,42	25,24	1,10	35,42	122,21	61,23	8,55	.013	.171	.001	.021	.288	
Total	Superficie	Media	1,93	16,64	8,71	5,94	137,00	329,60	6,91	253,85	1292,20	651,22	32,80	.062	1,877	.007	.193	.725	
		Desv. tip.	1,52	1,26	.36	.72	14,00	62,32	1,80	79,23	346,99	173,75	17,16	.031	1,496	.005	.195	.342	
	10 metros	Media		15,42	8,84	5,49	138,00	347,13	6,68	282,00	1469,80	733,75	26,00	.054	.923	.006	.158	.499	
		Desv. tip.		.65	.46	.74	11,05	47,11	1,74	40,99	132,87	67,28	16,78	.011	.181	.002	.117	.259	
	Total	Media	1,93	16,23	8,76	5,79	137,33	335,45	6,83	263,39	1351,40	678,73	30,53	.059	1,572	.007	.182	.649	
		Desv. tip.	1,52	1,23	.39	.75	13,00	57,89	1,77	69,60	303,98	151,50	17,03	.026	1,307	.004	.172	.329	

Según los resultados de dureza y conductividad eléctrica, la zona de Chucuito presenta aguas *muy duras*. La concentración de sólidos totales disueltos y suspendidos, en la mayoría de las estaciones, superaron los límites máximos permitidos para la protección de la vida acuática en cuerpos de agua dulce, influenciado por la alta concentración de sales, reflejada en la alta concentración de cloruros.

Respecto a los nutrientes, el contenido de nitritos no excede los valores para la protección de la vida acuática. Los nitratos y fosfatos presentaron concentraciones que superaron el valor máximo permisible protección de la vida acuática en agua dulce.

Tabla 3.2.- Resumen estadísticos de los principales parámetros fisicoquímicos evaluados en Chucuito en marzo y noviembre del 2010

Mes	Lance (m)		Resúmenes de casos															
			Transparencia (m)	Temperatura (°C)	pH	Oxígeno disuelto (mg/L)	Alcalinidad total (mg/L)	Dureza total (mg/L)	Dióxido de carbono (mg/L)	Cloruros (mg/L)	Conductividad eléctrica (µS/cm)	Sólidos totales disueltos (mg/L)	Sólidos totales suspendidos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Silicatos (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Clorofila "a" (mg/m ³)
Marzo	Superficie	Media	4,40	18,08	9,30	6,79	138,10	348,51	12,95	295,24	1492,86	746,29	32,36	,0337	,8014	,0004	,0543	1,05
		Desv. tip.	,86	,56	,25	1,21	14,01	18,32	3,23	26,76	8,74	4,48	6,88	,0161	,1824	,0006	,0689	,37
	10 metros	Media		16,94	9,38	6,80	143,08	338,05	14,08	290,77	1487,77	743,85	35,05	,0338	9062	,0005	,0329	1,97
		Desv. tip.		,16	,16	1,25	13,77	18,67	3,82	25,32	4,30	2,34	11,19	,0176	,1761	,0007	,0220	,43
	Total	Media	4,40	17,64	9,33	6,80	140,00	344,51	13,38	293,53	1490,91	745,35	33,40	,0338	8417	,0004	,0461	1,40
		Desv. tip.	,86	,72	,22	1,21	13,93	18,89	3,46	25,92	7,70	3,95	8,44	,0159	,1804	,0006	,0552	,60
Noviembre	Superficie	Media	4,03	15,76	8,47	6,76	138,10	371,31	7,71	340,95	1620,52	810,29	24,33	,0583	10987	,0071	,0823	1,48
		Desv. tip.	1,42	,42	,07	1,08	10,78	16,35	1,15	16,09	5,75	2,81	7,66	,0103	,2212	,0011	,0752	,84
	10 metros	Media		15,12	8,44	5,99	140,00	376,20	8,00	332,31	1620,15	810,00	19,33	,0598	8275	,0067	,0403	1,70
		Desv. tip.		,29	,04	,68	,00	22,08	,82	25,22	2,82	1,47	3,10	,0234	,2296	,0012	,0213	,
	Total	Media	4,03	15,51	8,46	6,46	138,82	373,18	7,82	337,65	1620,38	810,18	22,41	,0589	9857	,0069	,0648	1,54
		Desv. tip.	1,42	,49	,06	1,01	13,82	18,58	1,03	20,16	4,79	2,37	6,62	,0161	,2557	,0011	,0610	,53
Total	Superficie	Media	4,22	16,92	8,89	6,77	138,10	359,91	10,33	318,10	1556,69	778,29	28,35	,0452	9401	,0037	,0674	1,17
		Desv. tip.	1,17	1,27	,46	1,13	12,34	20,67	3,57	31,79	65,02	32,60	8,16	,0183	,2474	,0036	,0708	,47
	10 metros	Media		16,03	8,91	6,40	141,54	357,13	11,04	311,54	1553,96	776,92	27,19	,0468	8668	,0036	,0366	1,92
		Desv. tip.		,96	,49	1,07	9,67	27,92	4,11	32,58	67,60	33,79	11,34	,0239	,1973	,0034	,0208	,40
	Total	Media	4,22	16,58	8,90	6,63	139,41	358,85	10,60	315,59	1555,65	777,76	27,90	,0458	9108	,0037	,0551	1,44
		Desv. tip.	1,17	1,23	,47	1,12	11,45	23,54	3,77	32,02	65,53	32,81	9,30	,0202	,2272	,0034	,0576	,57

Zona Juli: En esta zona (Tabla 3.3) el promedio de temperatura superficial del lago registró valores entre 18,3°C (marzo) y 15,3°C (noviembre). En el estrato de 10 metros de profundidad, la temperatura varió entre 16,5°C (marzo) y 14,7°C (noviembre). El oxígeno disuelto en superficie presentó valores promedio 7,4 mg/L (marzo) y 5,1 mg/L (noviembre) y a 10 m de profundidad varió entre 7,2 y 5,2 mg/L, entre marzo y noviembre respectivamente. El pH se caracterizó por presentar valores altos en verano 9,3 (marzo) y 8,5 (noviembre). La alcalinidad se encontró entre los rangos promedio de 143,0 y 160,0 mg/L de CaCO₃, al igual que en Ramis y Chucuito, el valor de este parámetro permite mantener estable el pH de esta zona. La conductividad eléctrica y los sólidos disueltos totales indican que hasta los 10 m de profundidad el ambiente lacustre se muestra homogéneo. Los valores de dureza total expresada en mg/L CaCO₃, caracterizan al agua de esta como *duras* y *muy duras*. La concentración de sólidos totales suspendidos en la mayoría de las estaciones superaron los límites máximos permitidos para la protección de la vida acuática en cuerpos de agua dulce.

Tabla 3.3.- Resumen estadísticos de los principales parámetros fisicoquímicos evaluados en Juli (marzo y noviembre 2010).

Mes	Lance (m)		Resúmenes de casos															
			Transparencia (m)	Temperatura (°C)	pH	Oxígeno disuelto (mg/L)	Alcalinidad total (mg/L)	Dureza total (mg/L)	Dióxido de carbono (mg/L)	Cloruros (mg/L)	Conductividad eléctrica (µS/cm)	Sólidos totales disueltos (mg/L)	Sólidos totales suspendidos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Silicatos (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Clorofila "a" (mg/m ³)
Marzo	Superficie	Media	5,90	18,27	9,27	7,44	143,00	377,06	6,20	248,00	1500,40	750,25	40,31	,0523	,4593	,0014	,0881	,41
		Desv. tip.	1,54	,32	,20	,39	9,79	21,82	,85	33,97	2,50	1,55	6,81	,0095	,0527	,0004	,1072	,10
	10 metros	Media		16,50	9,37	7,15	145,00	364,80	6,58	263,33	1498,08	749,08	32,97	,0566	,7150	,0019	,0619	,76
		Desv. tip.		,27	,07	1,03	9,05	13,31	,85	33,93	1,24	,79	11,18	,0076	,4622	,0006	,0623	,06
	Total	Media	5,90	17,61	9,31	7,33	143,75	372,46	6,34	253,75	1499,53	749,81	37,25	,0541	,5659	,0016	,0780	,56
		Desv. tip.	1,54	,92	,17	,70	9,42	19,78	,86	34,24	2,38	1,42	9,22	,0087	,3107	,0005	,0904	,20
Noviembre	Superficie	Media	6,47	15,31	8,55	5,10	130,00	379,31	6,36	287,27	1599,73	799,73	18,00	,0680	,8992	,0051	,0411	,78
		Desv. tip.	1,50	,24	,15	1,65	14,14	27,38	1,21	16,18	14,85	7,42	3,90	,0254	,3103	,0005	,0082	,30
	10 metros	Media		14,74	8,53	5,22	160,00	374,30	7,33	282,22	1601,33	800,67	25,50	,0578	,8402	,0073	,0505	,93
		Desv. tip.		,12	,11	,66	,00	26,28	1,41	12,02	3,94	2,24	3,54	,0226	,1057	,0030	,0136	,22
	Total	Media	6,47	15,06	8,54	5,15	140,00	377,05	6,80	285,00	1600,45	800,15	20,50	,0629	,8697	,0062	,0458	,85
		Desv. tip.	1,50	,35	,13	1,32	20,00	26,30	1,36	14,33	11,10	5,59	5,16	,0229	,2169	,0023	,0115	,26
Total	Superficie	Media	6,10	17,22	9,01	6,56	141,82	377,85	6,26	261,94	1535,65	767,81	32,20	,0580	,6193	,0027	,0725	,54
		Desv. tip.	1,53	1,47	,40	1,54	10,53	23,51	,97	34,39	49,11	24,47	12,61	,0176	,2825	,0019	,0887	,26
	10 metros	Media		15,75	9,01	6,38	146,15	368,87	6,90	271,43	1542,33	771,19	30,83	,0571	,7706	,0043	,0568	,83
		Desv. tip.		,92	,43	1,31	9,61	19,92	1,16	27,98	52,42	26,20	9,93	,0149	,3397	,0034	,0452	,17
	Total	Media	6,10	16,63	9,01	6,49	143,43	374,23	6,52	265,77	1538,35	769,17	31,67	,0576	,6874	,0034	,0657	,67
		Desv. tip.	1,53	1,46	,41	1,45	10,27	22,37	1,09	32,01	50,07	24,99	11,35	,0160	,3107	,0027	,0722	,26

El contenido de nitritos no excedieron los valores para protección de la vida acuática, los nitratos presentaron concentraciones entre 0,06 mg/L (marzo) y 0,04 mg/L (noviembre). Al igual que en el resto de la mayoría de estaciones, la concentración de fosfatos se encontró por encima del valor recomendado, propiciando el desarrollo de especies biológicas indeseables y la eutrofización.

Durante el 2011 (agosto) se realizó una prospección limnológica en las zonas seleccionadas de la desembocadura del río Ramis, Muelle Barco y Muelle Juli, con la finalidad de analizar los principales parámetros fisicoquímicos de calidad del agua y contribuir en la generación de conocimientos ecológicos como base necesaria para evaluar los potenciales efectos de la actividad acuícola.

Zona Ramis

La temperatura superficial del lago en esta zona registró valores entre 10,2 y 12,6 °C, correspondiendo la temperatura más baja encontrada a la zona de mezcla entre el río y lago. La concentración de oxígeno

disuelto a nivel superficial estuvo entre 5,63 y 8,09 mg/L, encontrándose las mayores concentraciones de este gas en la zona próxima a la desembocadura del río Ramis, mientras que los valores de pH oscilaron entre 8,24 y 8,92 (Figura 3.11), la conductividad alcanzó un valor medio de 1422 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con ligeras variaciones en el área prospectada. Los resultados evidencian una variabilidad en la estructura térmica superficial del lago causadas por el ingreso de aguas del río Ramis, que influye en la solubilidad de los gases y sales disueltas.

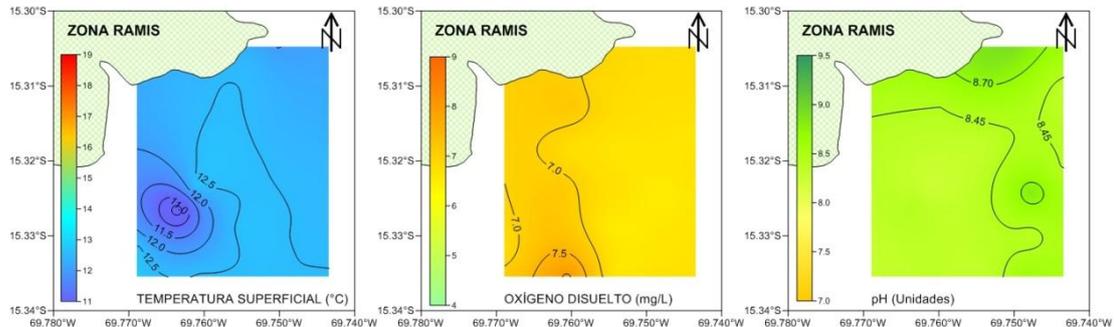


Fig.3.11.- Temperatura superficial, oxígeno disuelto y pH en la zona de Ramis. Monitoreo limnológico en zonas seleccionadas en el lago Titicaca, agosto 2011

Zona Chucuito

La temperatura a nivel superficial registró valores entre 12,1 y 13,8 °C, los valores más altos encontrados corresponden a zonas poco profundas próximas a la orilla, donde predominan totorales. El oxígeno disuelto se encontró entre 6,46 y 9,56 mg/L, las mayores concentraciones de este gas se encontraron en zonas poco profundas, próximas a la orilla, donde abunda vegetación sumergida y totorales. El pH registró valores entre 8,53 y 8,87, propios de aguas alcalinas (Figura 3.12), la conductividad eléctrica presentó valores entre 1562 y 1576 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a diferencia de la zona Ramis, donde se aprecia una mayor concentración de sales disueltas en el agua, un pH con menor variación y altas concentraciones de oxígeno debido posiblemente a una mayor actividad fotosintética.

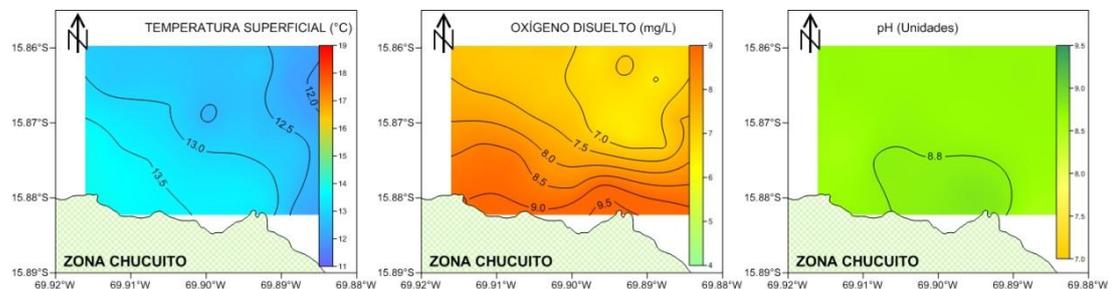


Fig.3.12.- Temperatura superficial, oxígeno disuelto y pH en la zona de Chucuito. Monitoreo limnológico en zonas seleccionadas en el lago Titicaca, agosto 2011

Zona Juli

La estructura térmica superficial en esta zona registró ligeras variaciones, registrándose valores entre 12,1 y 13,8 °C, a diferencia de la zona Chucuito, las temperaturas más bajas se registraron en zonas próximas a la orilla, donde predominan bancos arenosos. El oxígeno disuelto presentó las mayores concentraciones en zonas litorales de temperatura baja, encontrándose en el rango de 5,72 a 8,48 mg/L, mientras que el pH no registró grandes fluctuaciones en el área evaluada, encontrándose los valores entre 8,20 y 8,91 (Figura 3.13); y la conductividad eléctrica alcanzó un valor medio de 1483 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

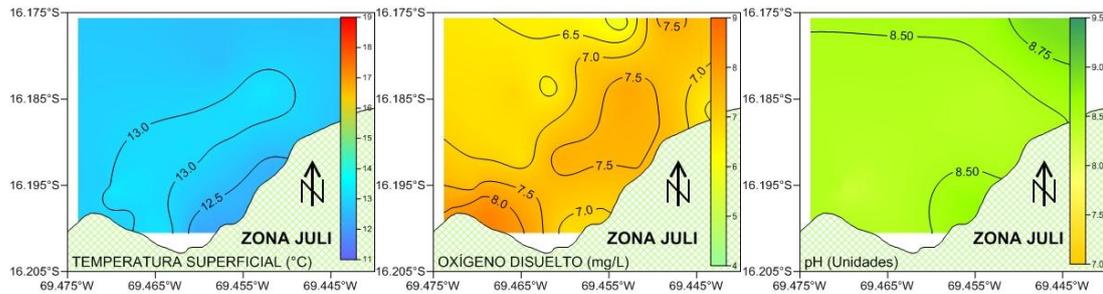


Fig.3.13.- Temperatura superficial, oxígeno disuelto y pH en la zona de Juli. Monitoreo limnológico en zonas seleccionadas en el lago Titicaca, agosto 2011

Aspectos biológicos

Composición, distribución y abundancia del fitoplancton

Composición del Zooplancton: En la prospección de marzo se determinaron en total 19 especies en la superficie y 18 en el fondo. La zona superficial estuvo comprendida de 06 grupos: Protozoa-Ciliata (01), Rotifera (09), Branchiopoda-Caldocera (03), Crustacea-Copepoda (04), Arthropoda-Insecta (01) y Nematoda (01). En tanto que, en fondo 05 grupos: Protozoa-Ciliata (01), Rotifera (09), Branchiopoda-Caldocera (03), Crustacea-Copepoda (04) y Arthropoda-Arachnoidea (01). En la zona superficial y fondo, el mayor número de especies promedio se encontró en Chucuito con 05 ± 4 y 08 ± 4 especies respectivamente destacando el grupo Rotífera para ambas zonas (Figura 3.14).

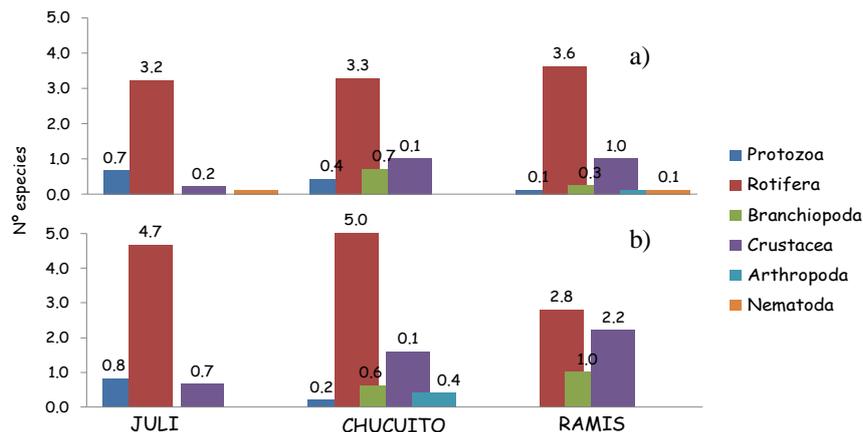


Figura 3.14.- Distribución espacial del número de especies por grupo taxonómico de la comunidad zooplanctónica: a) superficie y b) fondo, en marzo 2010.

Abundancia: En cuanto a las abundancias, en la superficie los valores fluctuaron entre 8 ± 5 ind.ml⁻¹ (Ramis) y 10 ± 11 ind.ml⁻¹ (Chucuito). En el fondo los valores fluctuaron entre 7 ± 4 ind.ml⁻¹ (Ramis) y 24 ± 21 ind.ml⁻¹ (Chucuito).

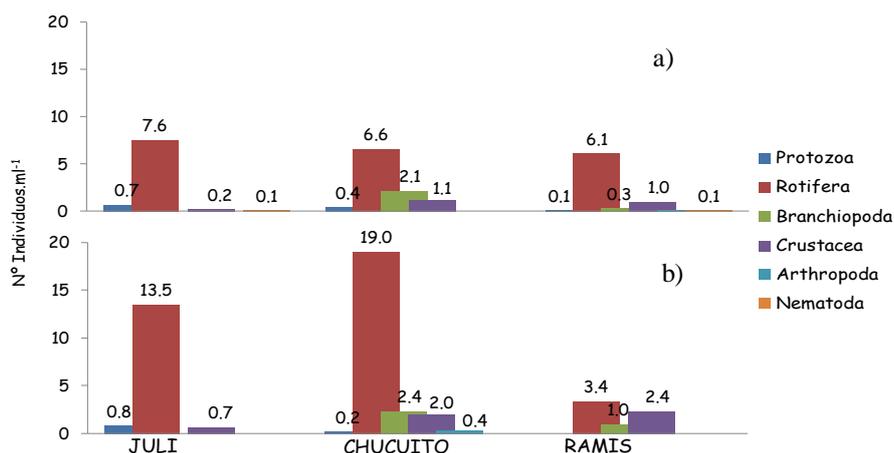


Figura 3.15.- Distribución espacial de la abundancia por grupo taxonómico de la comunidad zooplanctónica: a) superficie y b) fondo, en marzo 2010.

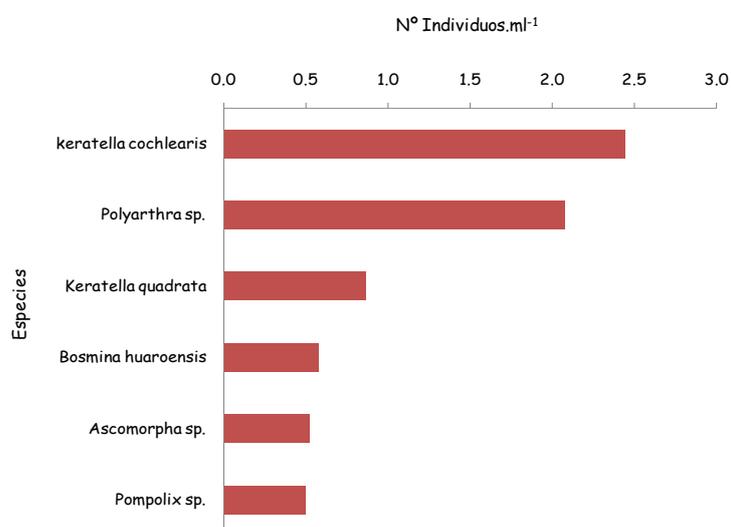


Figura 3.16.- Abundancia relativa de las principales especies de la comunidad zooplanctónica

El grupo más abundante fueron los rotíferos, con promedios entre 7 ind.ml⁻¹ (Superficie) y 12 ind.ml⁻¹ (Fondo) (Figura 3.15), con dominancia numérica promedio de Keratellacochlearis (2 ind.ml⁻¹), Polyarthrasp (2 ind.ml⁻¹) y Keratellaquadrata (1 ind.ml⁻¹) (Figura 3.16).

Índices de Diversidad: En la zona superficial, la riqueza de especies (d) fluctuó entre 1,56 (Juli) y 2,32 (Chucuito). En tanto, los valores de equidad (J') oscilaron entre 0,85 y 0,94. Mientras que, la diversidad de Shannon (H') estuvo entre 1,65 (Juli) y 2,13 bits.ind⁻¹ (Ramis) (Figura 3.17).

Mientras que en el fondo, la riqueza de especies (d) fluctuó entre 2,32 (Juli) y 2,60 (Chucuito). En tanto, los valores de equidad (J') oscilaron entre 0,86 y 0,99. Mientras que, la diversidad de Shannon (H') estuvo entre 1,28 (Ramis) y 2,35 bits.ind⁻¹ (Juli)

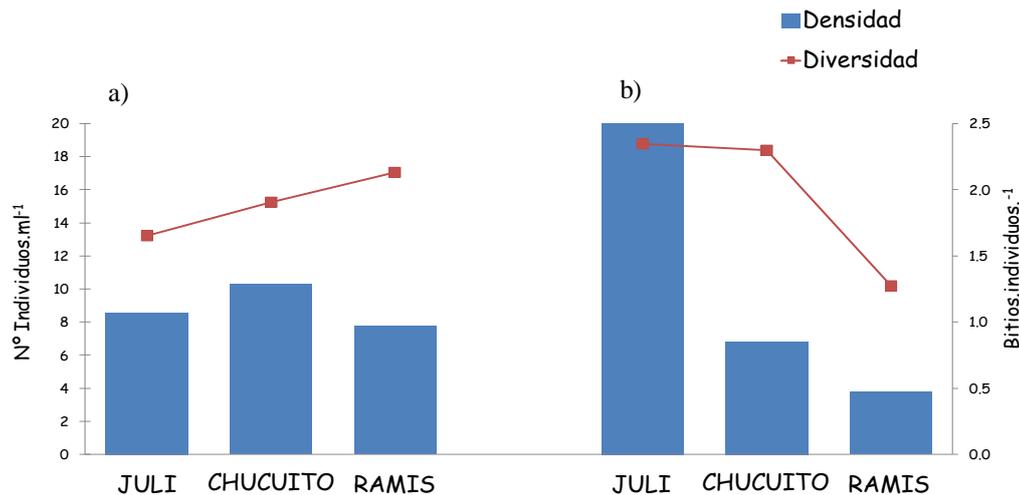


Fig. 3.17.- Distribución espacial de la abundancia y diversidad de la comunidad zooplanctónica: a) superficie y b) fondo, en marzo 2010.

Análisis comunitario: El análisis no métrico multidimensional (NMDS) muestra un estrés de 0,19, la formación de dos grupos cercanos entre sí (Figura 3.18a) debido a la similitud en sus abundancias. El primer grupo formado por las estaciones con mayor riqueza específica: Chucuito y Ramis, por aporte de los rotíferos (*Keratellacochlearis* y *Polyarthrasp.*) y copépodos (Figura 3.18b) y el segundo grupo formado por la localidad de Juli, con dominancia de los rotíferos.

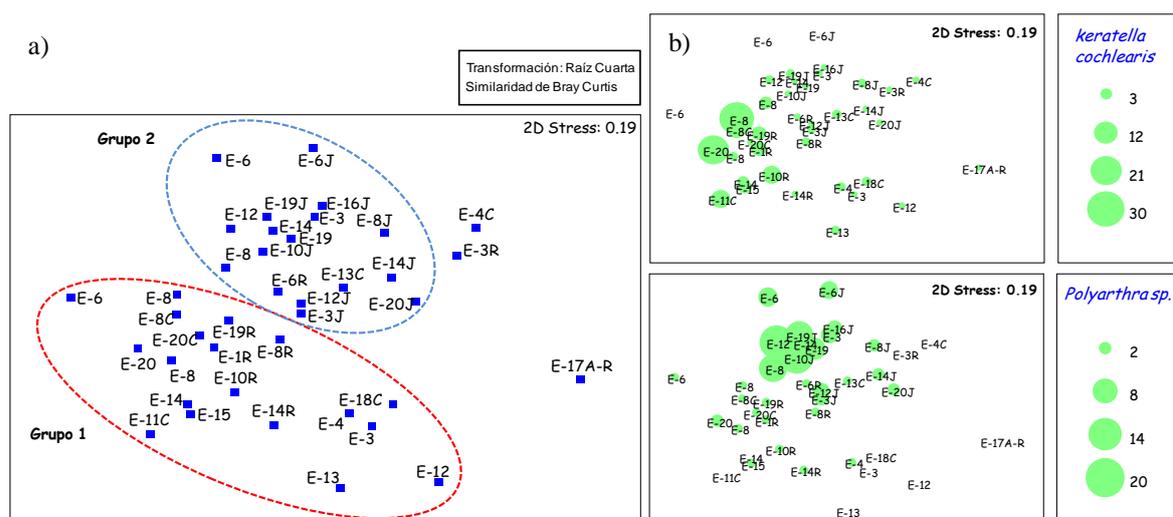


Fig. 3.18.- a) Análisis de escalamiento no métrico multidimensional (NMDS) y b) Distribución espacial de las especies dominantes de la comunidad zooplanctónica, en marzo 2010.

Los copépodos calanoideos del género *Boeckella*, han sido registrados como los dominantes del zooplancton en el lago Titicaca (Keifer, 1957; Ueno, 1967), contrario a lo reportado en este estudio, donde fue mínimo su aporte numérico (alrededor de 2 ind.ml-1). Siendo los Rotíferos los que registraron moderada dominancia numérica (alrededor de 15 ind.ml-1) respecto a los primeros, que estarían influenciados posiblemente por la época del año, debido a que alcanzan mayores abundancias en épocas marcadas (frio) (PINTO, 1991).

Composición, distribución y abundancia del fitoplancton

Se registraron un total de 34 géneros en superficie y fondo, que estuvieron representados por cuatro divisiones Chlorophyta (54,9%), Bacillariophyta (44,4%), Cyanophyta y Pyrrophyta (0,3%) (Figura 3.19).

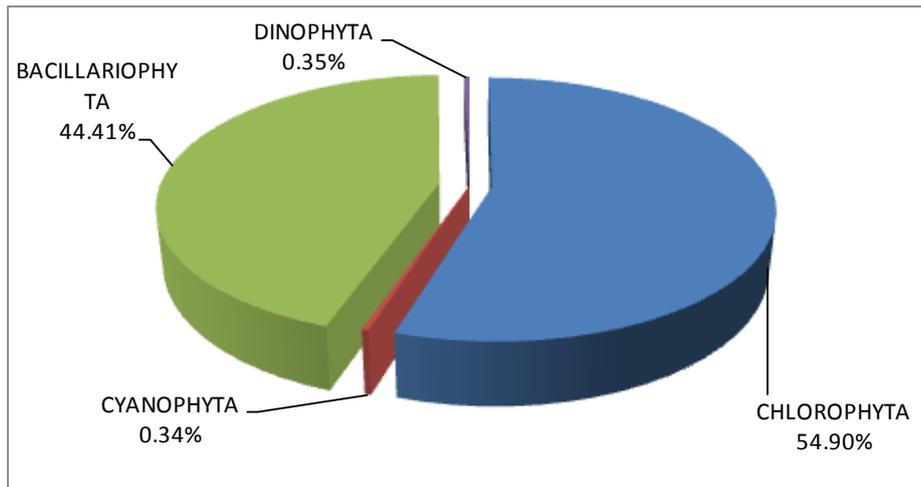


Fig. 3.19.- Composición porcentual de la flora planctónica

Los grupos Chlorophyta y Basillariophyta estuvieron presentes en todas las zonas de muestreo, tanto en superficie y fondo. En superficie (Figura 3.20a) sobresalieron los géneros *Mougeotiasp.* con 2219 ind/ml (Juli), *Ulothrixsp.* 608 ind/ml (Ramis) y *Oocystissp.* 140 Ind/ml (Juli). Las Basillariophytas fueron el segundo grupo dominante, en superficie predominó el género *Fragilariasp.* con 1288 Ind/ml (Ramis). Las concentraciones planctónicas de fondo estuvieron representadas por los mismos grupos encontrados en superficie, predominando los géneros *Mougeotiasp.*, *Ulothrixsp.* y *Oocystissp.* (Figura 3.20b). Sin embargo la capa superficial presentó mayores densidades de especies que la zona de fondo, Juli está representado por la mayor concentración de *Mougeotiasp.* tanto en superficie como en fondo.

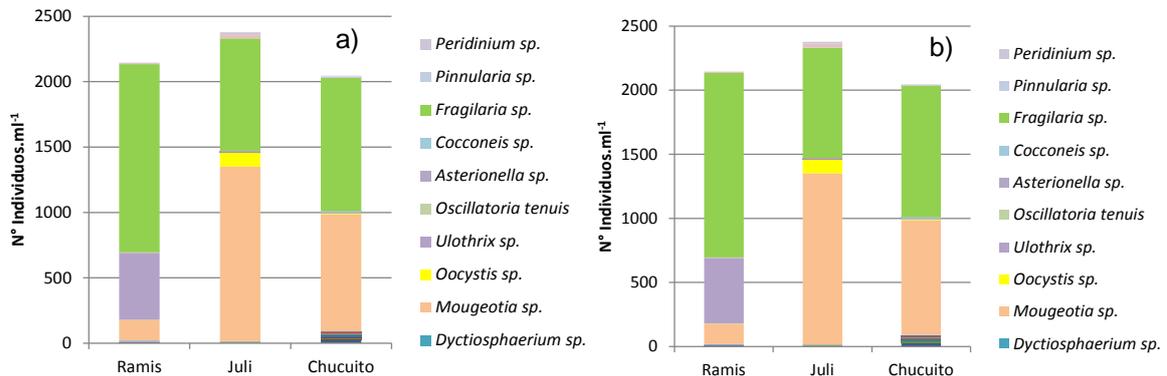


Fig. 3.20.- Distribución espacial de número de especies de la comunidad fitoplanctónica en a) superficie y b) fondo, marzo 2010.

Los géneros que presentaron mayor abundancia se caracterizan por habitar diversos ambientes, *Ulothrixsp.*, es una especie considerada como betamesosaprobio común de aguas ligeramente sucias (BURTON 1986), *Mougeotia* es característico de aguas estancadas, sitios contaminados y de aguas superficiales (TERREL&BYTNAR, 1996) y *Fragillaria*, es un género que presenta un amplio rango ecológico, que va desde ambientes de aguas limpias, moderadamente limpias y hasta polucionadas.

Índices de Diversidad: El número de especies estuvo en un rango medio (menores de 20 especies/ml). Los cuales determinaron una diversidad moderada de Shannon de hasta 2 bits/ind (Figura 3.21). El cual es un buen indicador complementado por la dominancia de ciertos grupos o géneros del fitoplancton para estimar el grado de avance del proceso eutrófico. La mayor concentración de fitoplancton en superficie se localizó en Juli, seguido de Chucuito y Ramis la diversidad más alta se denotó en la zona de Ramis seguido de Chucuito y finalmente Juli.

La zona de fondo presentó aparente uniformidad en diversidad y dominancia.

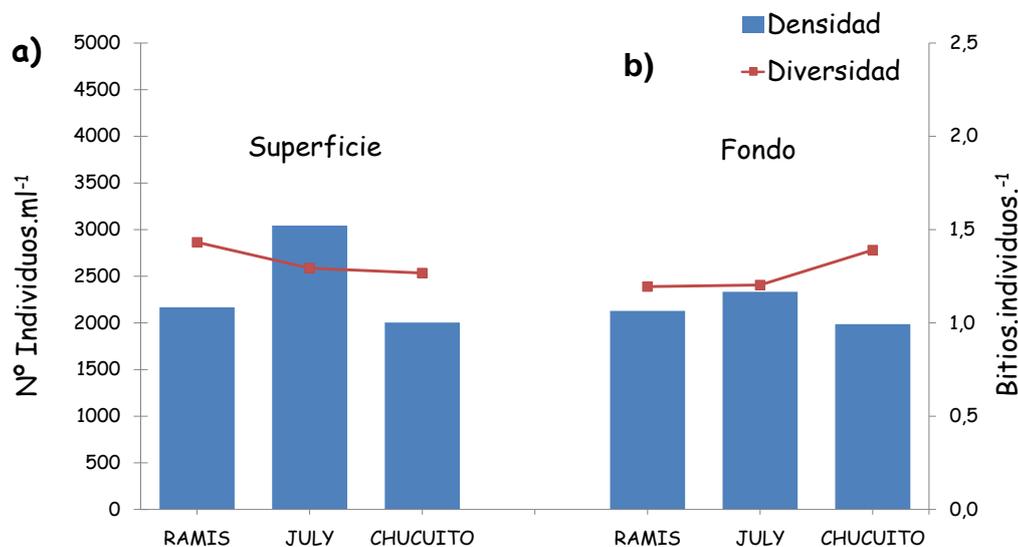


Fig.3.21.-Variación de los parámetros comunitarios: densidad y diversidad de Shannon en a) superficie y b) fondo

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA. 1992. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales, 17 Edición. Editores Díaz de Santos S.A. Madrid. 1816 pp.

Brönmark C, Hansson L. 2005. The biology of lakes and ponds, 2nd ed. United State: Oxford University Press Inc., New York. 285 pp.

Burton, M.A.S. 1986. Biological monitoring of environmental contaminants (plants), Londres. Monitoring and assesment research Center, king's College London University of London, 247 pp(A technical report, 1986).

Fuentes F, Massol-Deyá A. 2002. Manual de laboratorio: ecología de microorganismos. Universidad de Puerto Rico.

Iltis A. 1991. Físico Química. En: Dejoux, C. & A. Iltis (eds.), El Lago Titicaca: síntesis del conocimiento limnológico actual. La Paz: Hisbol - ORSTOM. 584 pp.

Kiefer, F., 1957. Freilebende Ruderfußkrebse (Crustacea, Copepoda) des Titicacasees. Veröff. Zool. Staatssamml. München 4: 125–150.

Margalef R. 1983. Limnología. Ediciones Omega S. A. Barcelona. 1009 pp

Northcote, T. 1991. Contaminación. En: Dejoux, C. & A. Iltis (eds.), El Lago Titicaca: síntesis del conocimiento limnológico actual. La Paz: Hisbol - ORSTOM. 584 pp.

Pinto J. Distribución del Zooplancton en la parte Boliviana del lago. En: El Lago Titicaca. Síntesis del conocimiento Limnológico actual, editores Claude Dejoux y André ILDIS. 277-284 pp.

Ramos O R, Sepúlveda M R, Villalobos M F. 2003. El agua en el medio ambiente: muestreo y análisis. Plaza y Valdez editores S.A. México. 210 pp.

Rodríguez M J, Marín G R. 1999. Físicoquímica de aguas. Ediciones Días Santos S.A. Madrid – España. 488 pp.

Roldán P G A, Ramírez R J J. 2008. Fundamentos de limnología neotropical, 2da edición. Imprenta Universidad de Antioquia. Colombia. 440 pp

Sánchez O. 2007. Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. Instituto Nacional de Ecología. México. 293 pp.

Terrel C. &Bytnar P. 1996. Water quality indicators guide. Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque.

Wetzel R G, 1981. Limnología. Ediciones Omega S. A. Barcelona. 605 pp.

MEJORA DE LA COMPETITIVIDAD DE LA MEDIANA Y PEQUEÑA ACUICULTURA

Componente 4

INVESTIGACIÓN DEL POTENCIAL ACUÍCOLA EN EL LAGO TITICACA Y PRINCIPALES ALFUENTES

Puno, Diciembre del 2011

INVESTIGACIÓN DEL POTENCIAL ACUÍCOLA DEL LAGO TITICACA Y PRINCIPALES AFLUENTES

Introducción

La calidad del agua de muchos de los recursos hídricos existentes en la cuenca del Lago Titicaca es aparente para desarrollar actividades de piscicultura, como es el caso del cultivo de “trucha arco iris” *Oncorhynchus mykiss* en jaulas flotantes, de amplia difusión y aceptación en dicha región. Sin embargo son pocos los estudios orientados a identificar zonas del lago Titicaca con potencialidad para el desarrollo de esta actividad, además de constituirse en una herramienta para la toma de decisiones para las concesiones de zonas orientadas a la ejecución del cultivo intensivo de “trucha” en sistemas suspendidos (jaulas flotantes).

En relación con ello, establecer alternativas para el desarrollo productivo del departamento de Puno, mediante la promoción de la piscicultura en la región, debe de considerar la realización del análisis del potencial existente, que oriente el otorgamiento de las concesiones en áreas lacustres que presenten condiciones aparentes para ejecutar la actividad.

Bajo este contexto, es pertinente identificar nuevas áreas aptas, estimar su capacidad de producción y la priorización del uso de las zonas acuáticas litorales.

Si bien no se ha efectuado prospección integral para evaluar el potencial acuícola de las zonas ribereñas del lago, se conoce que diversos sectores de su litoral presentan áreas que reunirían condiciones para efectuar cultivos, como son las zonas de Conima, Moho y Yunguyo, donde ya se viene realizando tal actividad.

Se realizaron prospecciones durante los años 2010 y 2011 en la zonas de la ensenada Conima, bahía de Moho y ensenada Yunguyo, donde se registraron datos de profundidad, parámetros abióticos, así como el registro de corrientes con derivadores para el 2010 y para el 2011 se empleó un ADCP SonTek Argonaut-XR .750 MHz, que permitió el registro de las corrientes de toda la columna de agua.

Batimetría

A bordo de una embarcación artesanal se recorrieron transectos equidistantes (± 100 m) mayoritariamente perpendiculares a la línea de orilla, hasta una distancia máxima de 1,8 km aproximadamente; efectuándose el registro de profundidades mediante una ecosonda comercial portátil marca Lowrance Inc., con transductor remolcable, tomándose paralelamente con el GPS los datos de posicionamiento geográfico. La información fue recuperada y los datos analizados con el programa SURFER para la interpolación de datos de profundidad; empleándose el método de interpolación kriging para la obtención y distribución de las isobatas.

Corrientes

En la prospección del 2010 se utilizaron dos derivadores para determinar la dirección y velocidad de las corrientes litorales, registrándolas en dos niveles (superficial y en la columna de agua a una profundidad de 5 m), para lo cual se consideró 5 minutos como tiempo promedio de deriva. La posición inicial y final de los derivadores se determinó mediante un GPS portátil. En la prospección del 2011 para la medición de las corrientes en la columna de agua se utilizó un correntómetro ADCP modelo SonTek Argonaut-XR .750 MHz. El equipo antes de ser colocado en el agua fue programado en un computador (laptop) en base a la profundidad máxima de cada estación y fue anclado con dos lastres de 20 kg c/u. El tiempo de lectura del equipo en cada estación fue 2 a 6 horas y el intervalo de muestreo de 10 minutos. Además, con el GPS se determinó las coordenadas de cada estación. La data fue procesada y analizada con el programa Matlab y graficado con el Surfer.

RESULTADOS

Ensenada Conima

a. Batimetría

En la Ensenada de Conima, se ha efectuado un levantamiento batimétrico de aproximadamente 620 Ha con líneas separadas cada 300 metros. La distancia promedio de la línea de costa hasta la profundidad de 20 m es de 300 m aproximadamente, siendo esta más amplia hacia la zona sur de la ensenada, alcanzado una distancia de 650 m aproximadamente. Se puede diferenciar dos zonas, hacia la parte sur de la ensenada las profundidades varían con una pendiente moderada, no se observa variaciones bruscas; y la zona norte, hacia la Isla Suasi, donde la pendiente es más pronunciada, alcanzando profundidades de 50 m a una distancia de la línea de costa de 250 m aproximadamente (Fig. 4.1).

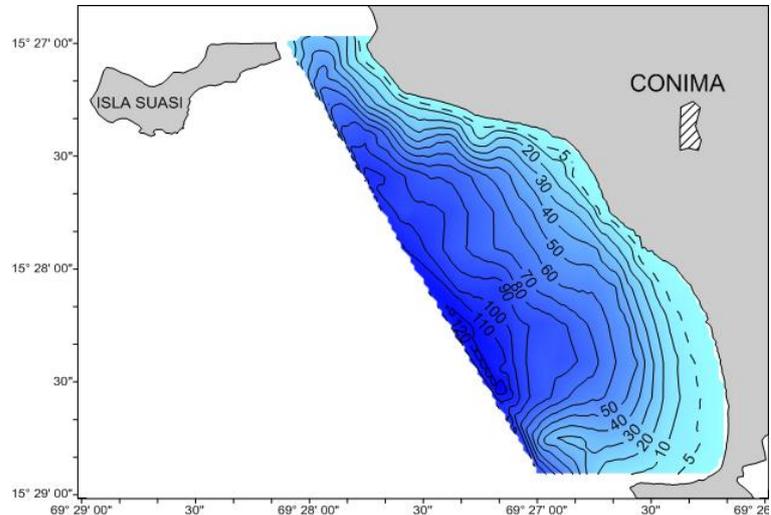


Fig. 4.1.- Carta batimétrica de la ensenada Conima, Nov. 2010

b. Corrientes

En ambos niveles las corrientes ingresan por la zona sur de la ensenada, con dirección norte, y salen por la zona próxima a la isla Suasi. Este comportamiento de las corrientes estaría influenciado por la dirección de los vientos y las características batimétricas de la zona, ya que hacia Suasi se presenta una cresta, con una profundidad de 30 m aproximadamente. La zona norte presentó las mayores velocidades de corrientes, alcanzado hasta 16,6 cm/s a nivel superficial y 14,7 cm/s a 5 m de profundidad, que disminuyen gradualmente conforme se aproximan hacia Suasi (Fig. 4.2).

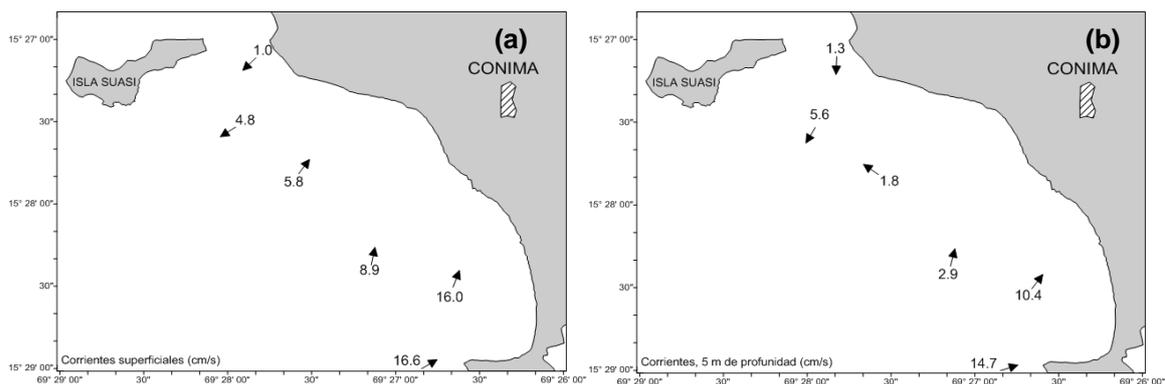


Fig. 4.2.- Corrientes superficiales (a) y a 5m (b) en ensenada Conima, Nov. 2010

A nivel de la capa superficial (1-5 m) la velocidad media de la corriente fue de 7,1 cm/s, en la capa media y profundidad de 10,3 y 11,5 cm/s, respectivamente. En la estación 1 (E01) se registró la velocidad máxima media.

La dirección de flujos de agua entre 8:00 y 12:00 hrs en la capa superficial predominó con dirección hacia el norte (E01) y nor-oeste (E03), mientras de 13:00 a 15:00 hrs con dirección sur-oeste (E02) y este (E04). En la

capa media y profunda, la dirección de los flujos de agua es muy similar a la capa superficial, a excepción de la E03 y E04 donde la dirección es opuesta a la capa superficial.

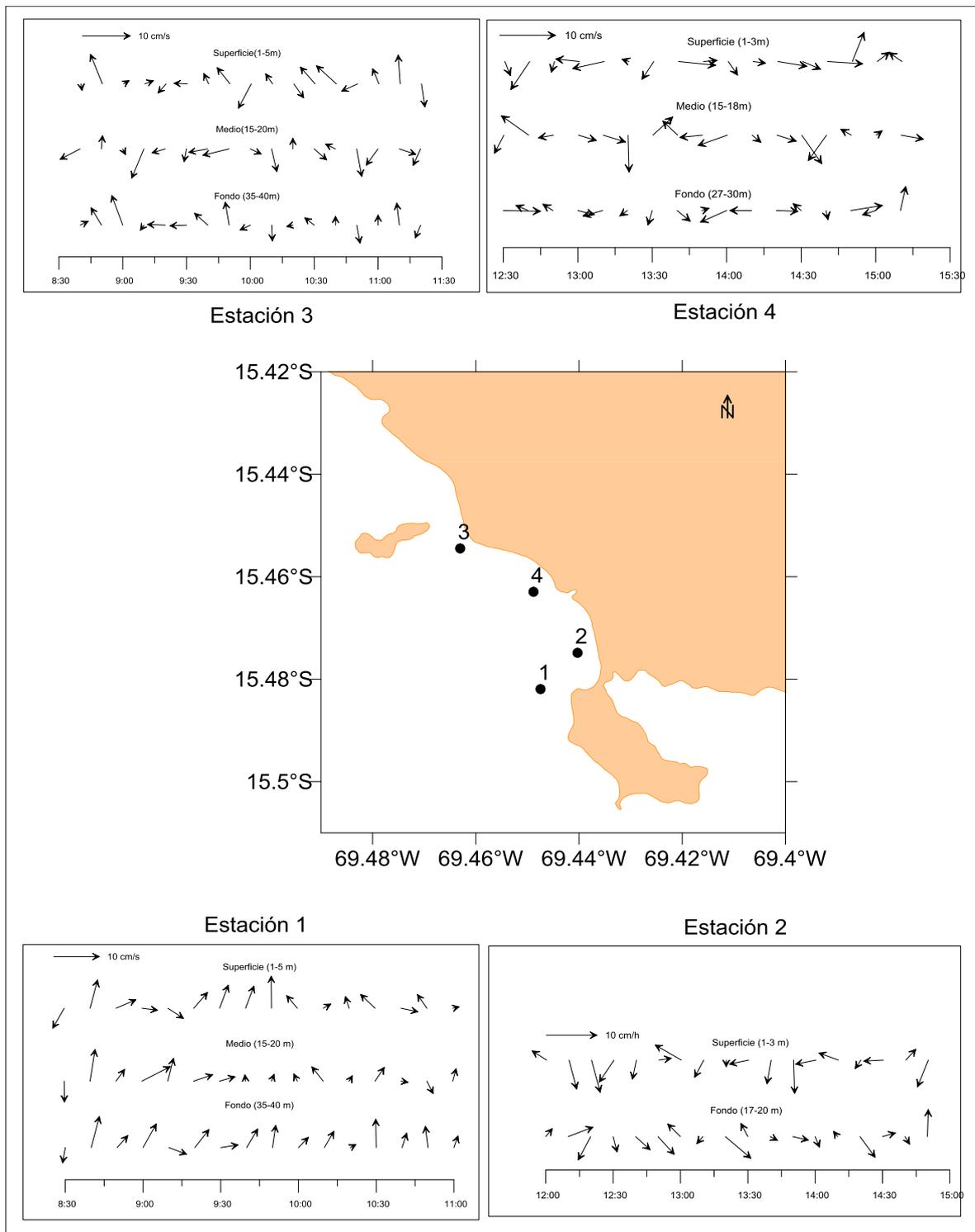


Fig. 4.3.- Corrientes (cm/s) de la Ensenada de Conima (Agosto 2011).

Bahía Moho

a. Batimetría

En la Bahía de Moho se ha efectuado un levantamiento batimétrico de aproximadamente 420 Ha con líneas separadas cada 300 metros. La sección interna de la bahía es poco profunda, no alcanzado más de 20 m. Las zonas adyacentes a los totorales presentan una zona poco profunda, que no sobrepasa los 5 m. La profundidad cambia gradualmente, conforme se aproxima a la entrada de la bahía, aumentado rápidamente hasta alcanzar los 50 m de profundidad y las isobatas se encuentran más seguidas (Fig.4.4).

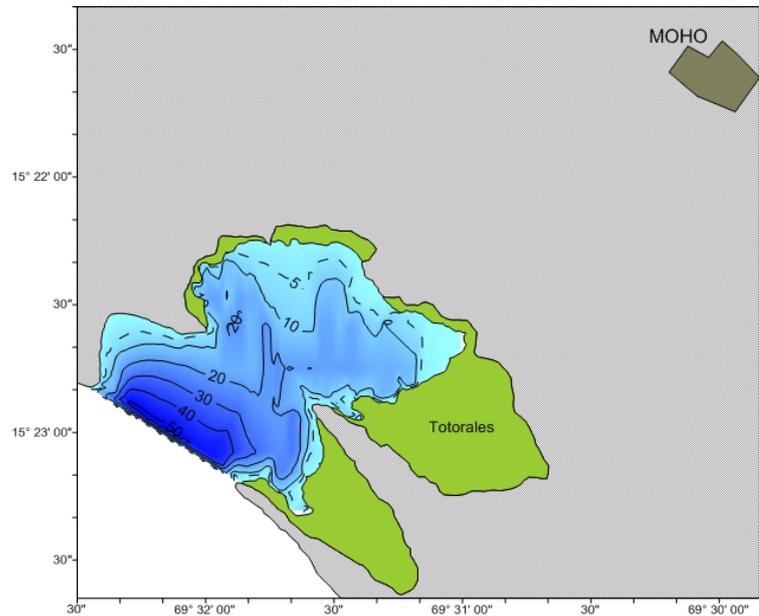


Fig. 4.4.- Carta batimétrica de la bahía Moho, Nov. 2010

b. Corrientes

La masa de agua superficial presentó las mayores velocidades de corriente, alcanzando hasta 15 cm/s, en la parte media de la bahía. En ambos niveles, la masa de agua ingresa con una dirección suroeste. No se apreció corrientes de salida durante la prospección, esto se debería a la ubicación de las estaciones. La zona media de la bahía presentó las mayores corrientes en ambos niveles, las áreas cercanas a los totorales presentaron flujos menores de agua (Fig. 4.5).

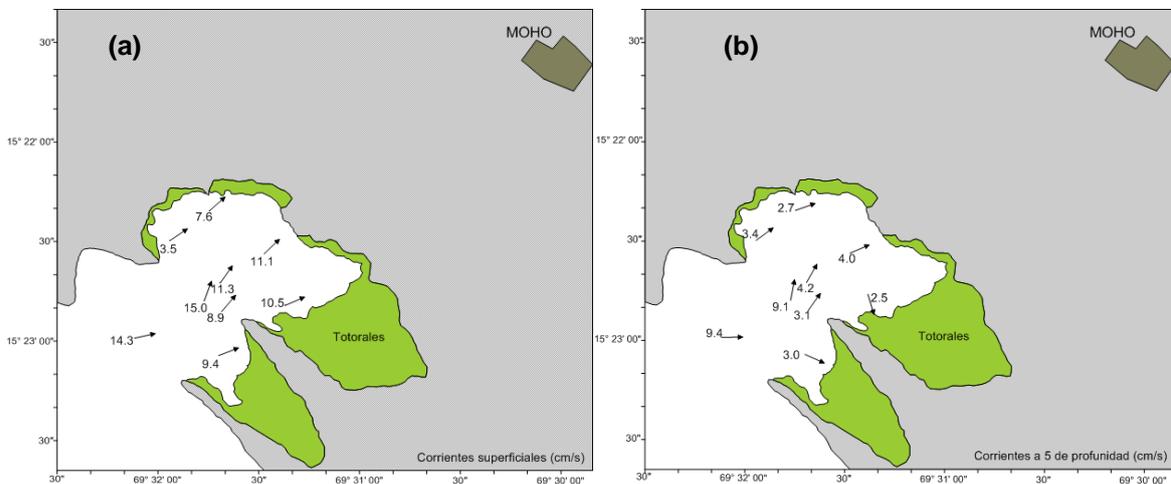


Fig. 4.5.- Corrientes superficiales (a) y a 5m (b) en bahía Moho, Nov. 2010

A nivel de la capa superficial la velocidad media de la corriente fue de 1,9 cm/s, mientras que en la capa media (15-30 m) y profunda (27-30 m) la velocidad promedio fue de 4,2 cm/s. La dirección e intensidad de la corriente para el periodo de evaluación varía en 360° en una escala de tiempo de dos horas.

En horas de la mañana (8:00-12:00hrs) en la capa superficial los flujos de agua predominaron hacia el nor-este y sur-oeste (E01), mientras que para la E04 dominan flujos de agua hacia sur-oeste. Mientras que en horas de la tarde (13:00-15:00) los flujos de agua presentaron una dirección hacia nor-este (E03) y sur-oeste (E2).

En la capa media y profunda la dirección de las corrientes es muy similar a la capa superficial. Es importante resaltar que en zonas someras (< 20m) los flujos de agua son más débiles al parecer influenciado por la topografía de la Bahía de Moho y la presencia de variaciones de alta frecuencia del viento (Fig. 4.6).

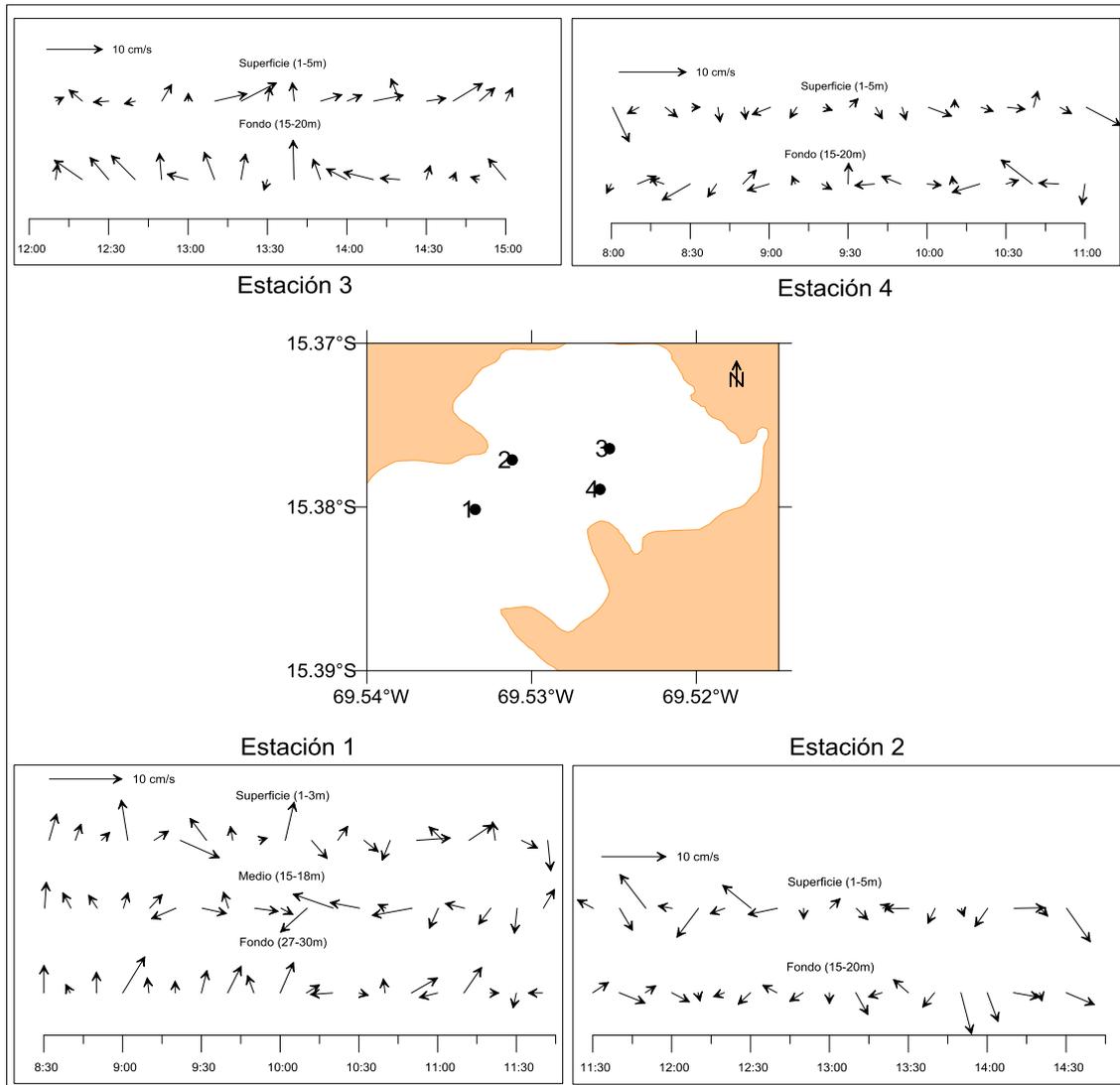


Fig. 4.6.- Corrientes (cm/s) de la Bahía de Moho (Agosto 2011).

Ensenada Yunguyo

a. Batimetría

En la Ensenada de Yunguyo se ha efectuado un levantamiento batimétrico de aproximadamente 950 Ha con líneas separadas cada 300 metros. La distancia promedio de la línea de costa hasta la profundidad de 20 m es de 500 m aproximadamente, siendo más amplia hacia el oeste de la ensenada, alcanzado una distancia de 800 m aproximadamente. Las profundidades varían con una pendiente moderada, no se observa variaciones bruscas (Fig.4.7).

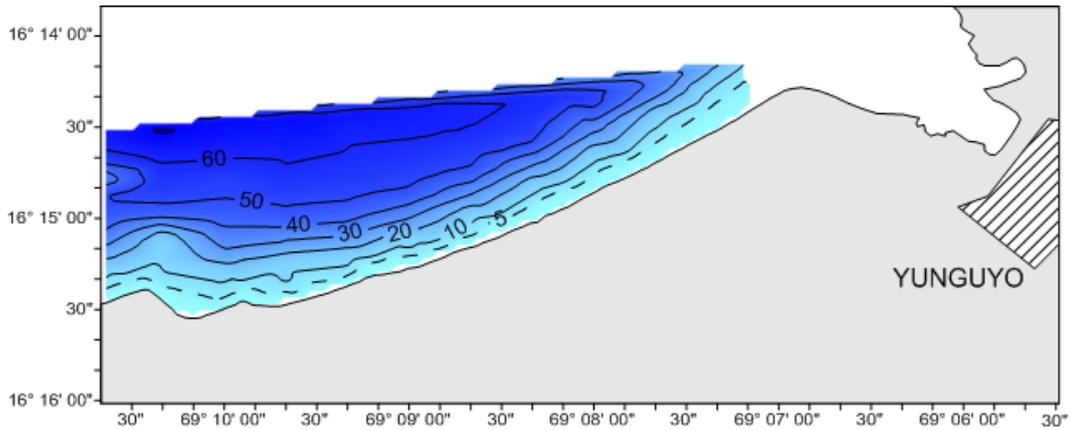


Fig. 4.7.- Carta batimétrica de la ensenada Yunguyo

b. Corrientes

En ambos niveles las corrientes ingresan con una dirección noroeste, y salen por los extremos del área evaluada a 5 m de profundidad. La velocidad máxima alcanzada fue 11 cm/s en la parte media de la ensenada, disminuyendo gradualmente conforme se aproximan a la línea de orilla (Fig.4.8).

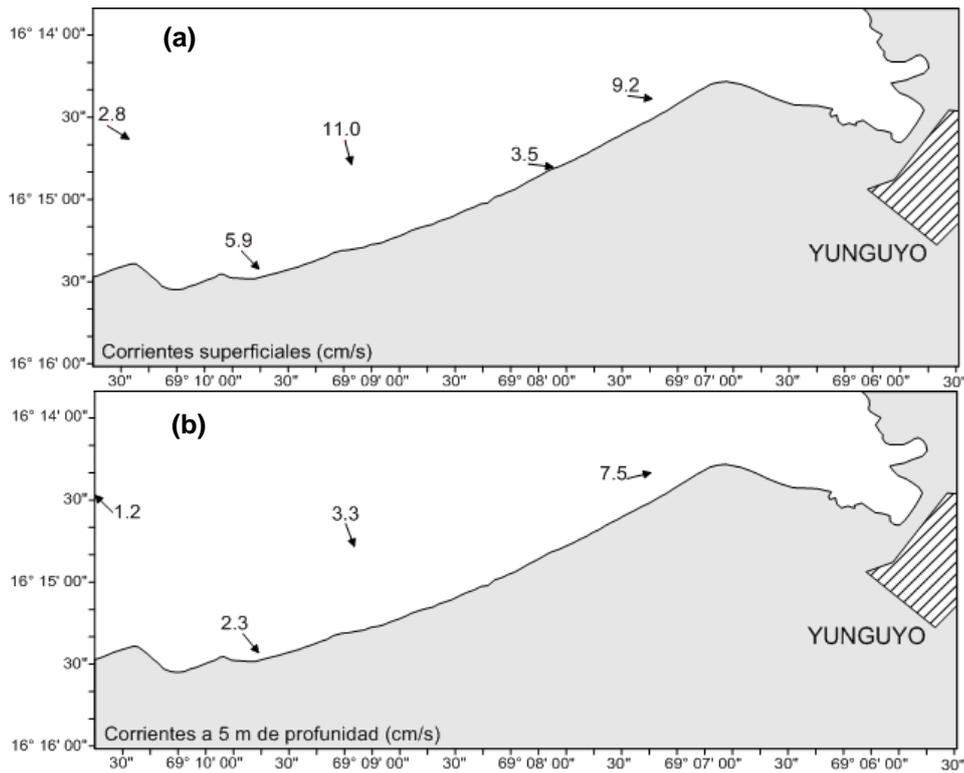


Fig. 4.8.- Corrientes superficiales (a) y a 5m (b) en ensenada Yunguyo, Nov. 2010

A nivel de la capa superficial (1-5 m) la velocidad promedio de la corriente se registró en 5 cm/s, en la capa media (15-20 m) en 3,3 cm/s y en la capa profunda (35-40 m) en 3,5 cm/s. En la E01 se determinó la máxima velocidad media (6 cm/s) a nivel de la capa superficial.

La dirección de la corriente en la capa superficial en horas de la mañana (8:00-12:00 hrs) fue hacia el nor-este (E01) y sur (E03), y en horas de la tarde (13:00-15:00) con dirección nor-este (E01 y E02). Mientras que en la capa media, frente a la ciudad de Yunguyo, la corriente fue muy moderada (3,7 cm/s) y con dirección

este y oeste; y en la capa profunda, la dirección es opuesta a la capa media. En la E03, en la capa media y profunda la dirección es opuesta a la capa superficial, y en la E02 a nivel de la capa media y profunda es similar a la capa superficial (Fig. 4.9).

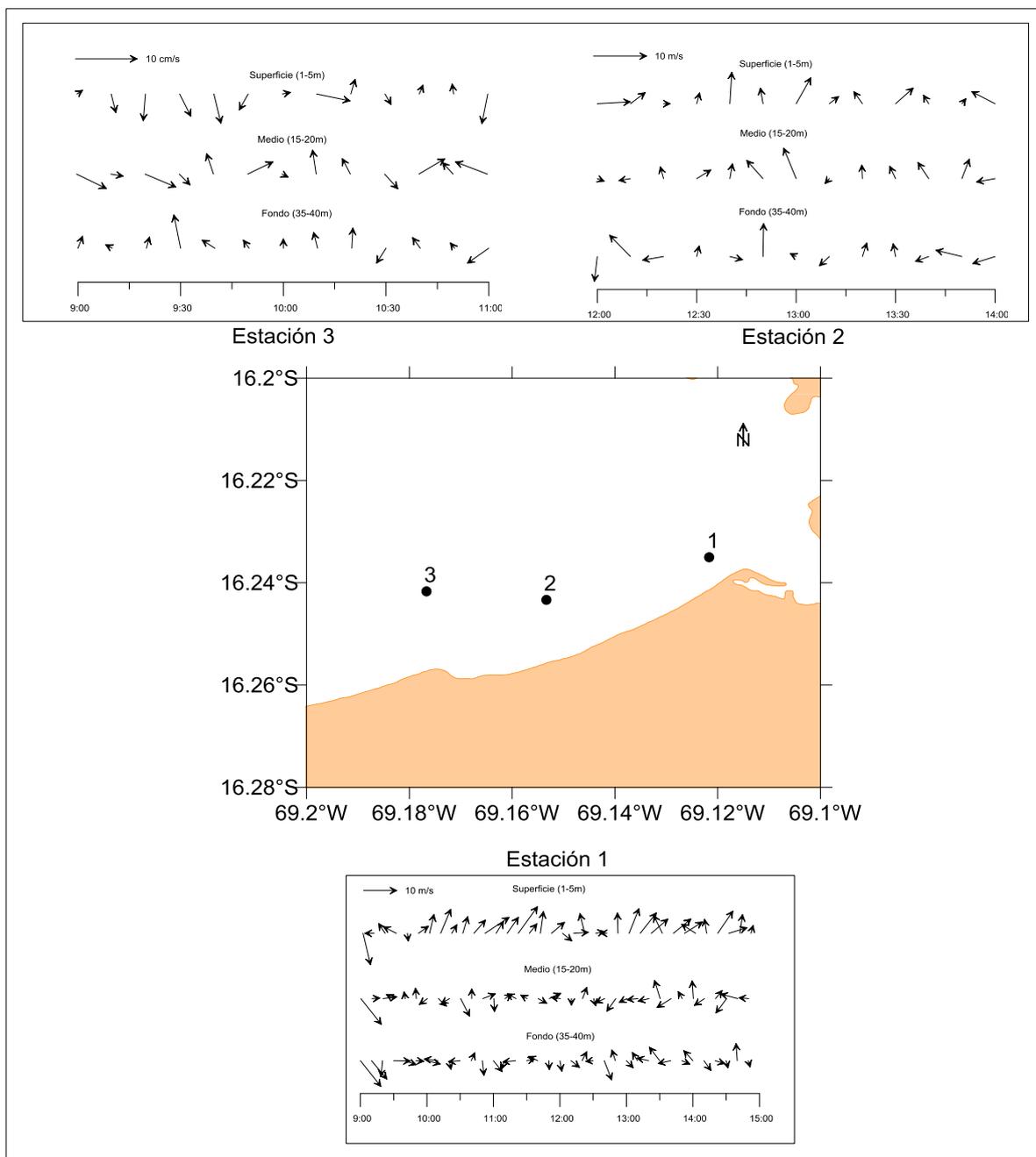


Fig. 4.9.- Corrientes (cm/s) de la Ensenada de Yunguyo (Agosto 2011).

Parámetros bióticos

Entre julio y agosto del 2011 se realizó la prospección limnológica estacional de áreas seleccionadas con fines de acuicultura en tres zonas litorales seleccionadas del lago Titicaca, ubicadas en el ámbito de los sectores de Conima, Moho y Yunguyo, cuyas acciones abarcaron la toma de muestras para análisis de parámetros bióticos y abióticos de la calidad del agua y determinación básica de sedimentos.

Conima

Los valores de temperatura a nivel superficial oscilaron entre 12,5 y 13,5 °C con un promedio de 13,0 °C; en el nivel medio los valores variaron de 12,5 a 13,0 °C con un promedio de 12,7 °C, y en el fondo los valores

variaron de 12,4 a 12,9 °C con un promedio de 12,6 °C. Los valores de pH presentaron valores entre 8,17 y 8,74, con un valor medio de 8,30. En cuanto a la concentración de oxígeno disuelto, se observa los mayores valores a nivel superficial con un promedio de 5,70 mg.L⁻¹, para el nivel medio la concentración promedio fue de 5,54 mg.L⁻¹ y para el fondo la concentración fue de 5,22 mg.L⁻¹. La ensenada de Conima mostró profundidades de hasta 120 m hacia la zona media del área prospectada (Fig. 4.10).

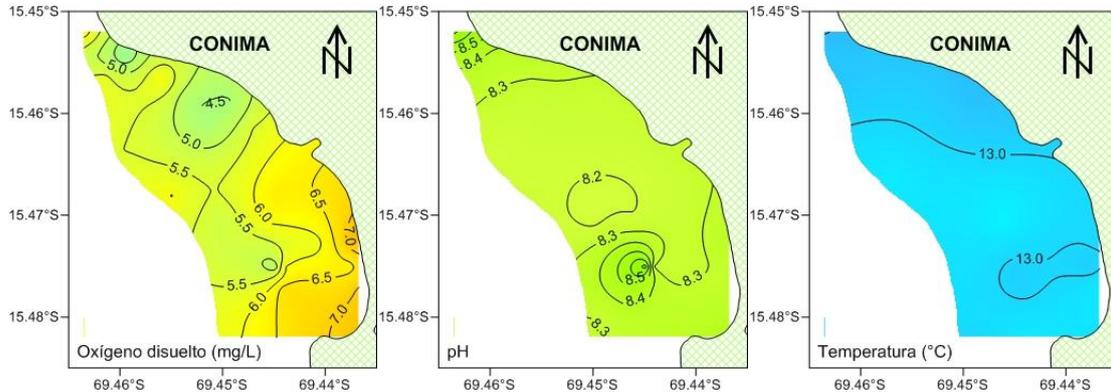


Fig. 4.10.-Carta de de oxígeno disuelto (izquierda), pH (centro) y Temperatura (derecha) ensenada de Conima

Moho

Los valores de temperatura a nivel superficial oscilaron entre 12,8 y 12,5 °C con un promedio de 13,1 °C, en el fondo los valores variaron entre 12,5 y 12,4 °C con un promedio de 12,6 °C. El pH presentó valores entre 8,27 y 8,42, con un valor medio de 8,38. Respecto a la concentración de oxígeno disuelto, en superficie se encontró un promedio de 6,64 mg.L⁻¹, mientras que a nivel de fondo el promedio se encontró en 6,47 mg.L⁻¹. La bahía de Moho presenta su máxima profundidad (50 m) hacia la boca de la bahía (Fig. 4.11).

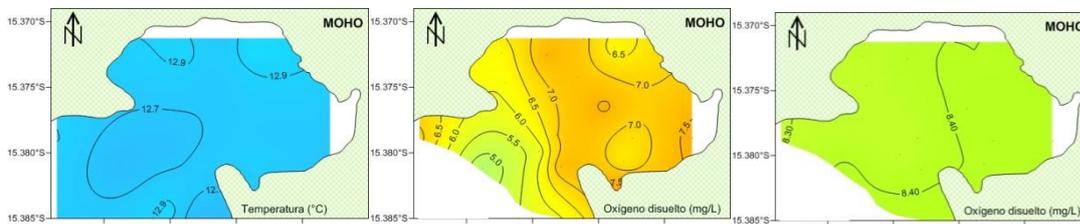


Fig. 4.11.-Carta de de temperatura (izquierda), oxígeno disuelto pH (centro) y pH (derecha) Bahía de Moho

Yunguyo

La temperatura superficial presentó valores entre 12,6 y 13,8 °C con un promedio de 13,1 °C, en el nivel medio (20m) los valores de temperatura variaron de 12,6 a 12,9 °C con un promedio de 12,8 °C, mientras que en el fondo oscilaron entre 12,3 y 13,0, con un promedio de 12,8. La concentración de oxígeno disuelto registró los mayores valores a nivel superficial con un promedio de 6,87 mg.L⁻¹, para el nivel medio la concentración promedio fue de 6,22 mg.L⁻¹ y para el fondo la concentración promedio fue de 6,25 mg.L⁻¹, al igual que la temperatura, a nivel superficial se apreciaron ligeras variaciones de estos parámetros (Fig. 4.12).

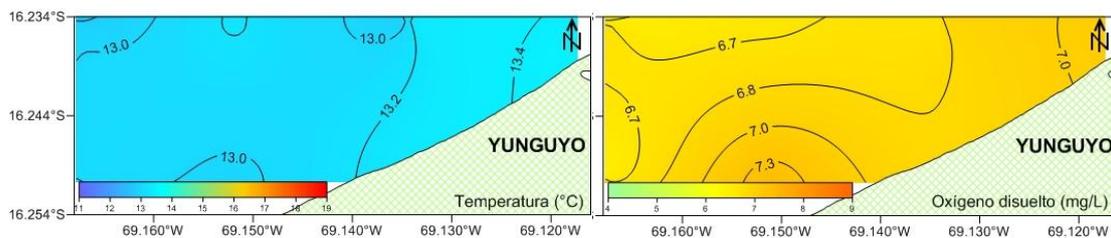


Fig. 4.12.-Carta de de temperatura (izquierda) y oxígeno disuelto (derecha) ensenada de Yunguyo

Discusión

Para lograr una gestión sostenible de los recursos acuáticos continentales es necesario conocer el funcionamiento del ecosistema acuático, a través de una serie de aspectos, como sus características hidromorfológicas, físicas, químicas, biológicas, la forma y el tamaño de la base de un lago afectan parámetros físicos, químicos y biológicos del lago.

Los mapas batimétricos proveen la base para la administración científica de los recursos hídricos de acuerdo con los intereses de la sociedad ya que suministran información esencial para evaluar los recursos y determinar la cantidad, calidad y disponibilidad desde los puntos de vista geográfico y temporal, en base a estos mapas se pueden calcular diversos parámetros morfométricos, que son útiles para conocer el contenido calórico y la estabilidad de la columna de agua, la productividad biológica, las tasas de ciclaje de nutrientes y otros componentes estructurales y funcionales del ecosistema, incluyendo los procesos evolutivos del sistema lacustre como la erosión (Wetzel, 1979). La morfometría de un lago determina en gran medida los procesos biofísicos que tienen lugar en él, el estudio morfométrico tiene como objetivo el servir como elemento básico para posteriores estudios limnológicos.

Las características morfobatimétricas encontradas en las tres zonas evaluadas indican que las ensenadas de Conima y Yunguyo presentaron las mejores condiciones para el desarrollo óptimo de la actividad acuícola, al ser zonas abiertas, con una amplia y continua área de contacto de la superficie del lago en la cual puede interactuar el viento. Mientras que la zona de la bahía de Moho, presentó una amplia zona litoral, alcanzando profundidades mayores a 20 m hacia la entrada de la bahía, además que al ser una zona cerrada rodeada por montañas, presenta una menor área de contacto entre la superficie del lago y el viento.

El estudio de corrientes de agua en un lago es fundamental para poder determinar una serie de respuestas ligada a distintos tipos de actividades y en especial a la actividad acuícola, ya sea para el fondeo de los módulos de cultivo, como en la dispersión de las partículas emitidas al medio por parte de esta actividad (alimento, fecas), aporta información sobre patrones de movimiento de las masas de agua que afectan a un sector en particular.

El estudio de corrientes demostró grandes variaciones entre los métodos de muestreo (derivadores y correntómetro ADCP), tal es así, que con los derivadores registraron mayores velocidades de corrientes, pero al ser un método menos preciso que usando un ADCP, se considera más confiable los datos obtenidos durante las prospecciones del 2011, donde se usó el correntómetro ADCP. La ensenada de Conima registró las mayores velocidades de corrientes en toda la columna de agua, seguido de Yunguyo, pero solo a nivel superficial (5,0 cm/s), esta condición está relacionada con las condiciones morfobatimétricas encontradas en ambas zonas, mientras que la bahía de Moho presentó los menores registros de velocidad de vientos, alcanzando solamente 1,9 cm/s a nivel superficial, que está relacionado a las características morfobatimétricas encontradas y a la presencia de totorales en las zonas litoral de la bahía que ejercer un efecto barrera a la acción del viento sobre la superficie del lago, Cabe precisar que el estudio se realizó en la época de mayor viento en la zona del altiplano (agosto), es de esperar que en otros meses del año estos valores sean menores, además que el tiempo de fondeo en cada estación de muestreo no permite inferir un patrón, estos resultados se deben considerar como referenciales, siendo necesario realizar estudios en ciclo lunar completo y en diferentes épocas del año, afín de lograr un mayor entendimiento del movimiento de las masas de agua en el lago Titicaca.

Respecto a los parámetros fisicoquímicos, la temperatura del agua registro valores bajos, propios de la estacionalidad del año, la concentración de oxígeno disuelto se encontró dentro de los valores recomendados para el desarrollo de la vida acuática (5,0 mg/L), y el pH fue propio de aguas alcalinas, con ligeras variaciones en la columna de agua.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

APHA. 1992. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales, 17 Edición. Editores Díaz de Santos S.A. Madrid. 1816 pp.

Brydsten, L. 2004. A method for determination of morphometry, sediment distribution, and habitat diversity of lake basins and its application to three lakes in Uppland. Department of Biology and Environmental Science Umea University, Swedish. ISSN 1402-3091

Ittis A. 1991. Físico Química. En: Dejoux, C. & A. Ittis (eds.), El Lago Titicaca: síntesis del conocimiento limnológico actual. La Paz: Hisbol - ORSTOM. 584 pp.

Margalef R. 1983. Limnología. Ediciones Omega S. A. Barcelona. 1009 pp

Roldán P G A, Ramírez R J J. 2008. Fundamentos de limnología neotropical, 2da edición. Imprenta Universidad de Antioquia. Colombia. 440 pp

Wetzel R G, 1981. Limnología. Ediciones Omega S. A. Barcelona. 605 pp.

**MEJORA DE LA COMPETITIVIDAD DE LA MEDIANA Y
PEQUEÑA ACUICULTURA**

Componente 5

**ESTUDIO SOBRE LA CONTAMINACIÓN ACUÁTICA EN EL LAGO
TITICACA Y PRINCIPALES AFLUENTES**

Puno, Diciembre del 2011

ESTUDIO DE LA CONTAMINACIÓN ACUÁTICA EN EL LAGO TITICACA Y PRINCIPALES AFLUENTES

Durante marzo y noviembre del 2010 se realizaron prospecciones para determinar la calidad de las aguas en los sectores de llave, Ramis, Juli, Yunguyo, Desaguadero, así como la cuenca baja de los ríos Coata y Suches. Zonas identificadas como críticas y muy críticas debido al impacto producido por efluentes domésticos, industriales, actividades acuícolas y actividades mineras que se realizan en las zonas altas de la región (Figura 5.1). El estudio comprendió el registro de temperatura, transparencia y pH en todas las estaciones, utilizando un termómetro certificado y potenciómetro previamente calibrado. Se colectó muestras de agua del lago para los análisis de oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, aceites y grasa, nutrientes, sulfuros de hidrógeno, demanda bioquímica de oxígeno, fitoplancton, zooplancton, clorofila "a", coliformes totales y termotolerantes, traza de metales. Los sedimentos del lago se colectaron a través de una draga tipo Van Veen de 0,05 m². Las muestras colectadas fueron debidamente preservadas y analizadas en laboratorio según metodologías establecidas por la EPA, a excepción del oxígeno disuelto, que fue determinando in situ, a través del método de WINKLER, modificado por CARRIT y CARPENTER (1966)



Figura 5.1.- Ubicación geográfica de estaciones de muestreo.

Condiciones químicas

En marzo, las concentraciones promedio de aceites y grasas fueron: río Coata (puente) 1,30 mg/L; desembocadura del río Ramis 0,76 mg/L; río Maravillas (puente) 0,51 mg/L; río Torococha 3,43 mg/L; río llave 0,77 mg/L; bahía interior de Puno 0,78 mg/L; bahía de Juli 0,69 mg/L; bahía de

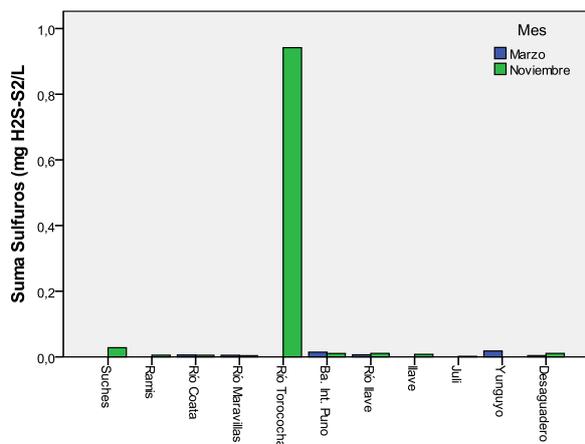


Figura 5.3.- Concentración sulfuros de hidrogeno en agua superficial encontrados en marzo y noviembre de 2010.

Mientras que la concentración promedio de sulfuros de hidrógeno (H₂S-S₂) en marzo por cada zona de estudio fue: río Coata (puente) 0,006 mg/L; río Maravillas (puente) 0,005 mg/L; río llave 0,006 mg/L; bahía

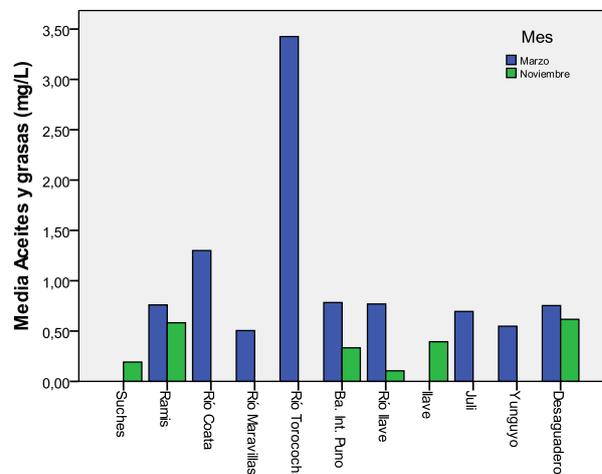


Figura 5.2.- Concentración de aceites y grasas en agua superficial encontrados en marzo y noviembre de 2010.

Yunguyo 0,55 mg/L; bahía Desaguadero 0,69 mg/L y río Desaguadero (efluente del Titicaca) 0,83 mg/L (Fig. 5.2). Tanto en marzo como en noviembre las concentraciones de aceites y grasas encontradas superan la tolerancia de 0,0 mg/L para la categoría 4: Conservación del ambiente acuático establecido en los ECA.

Mientras que la concentración promedio de sulfuros de hidrógeno (H₂S-S₂) en marzo por cada zona de estudio fue: río Coata (puente) 0,006 mg/L; río Maravillas (puente) 0,005 mg/L; río llave 0,006 mg/L; bahía

interior de Puno 0,014 mg/L; bahía de Yunguyo 0,018 mg/L; bahía Desaguadero 0,004 mg/L (Fig. 5.3). En noviembre se encontró el valor más alto de sulfuros en el río Torococha (0,94 mg/L). Estas concentraciones, también excedieron los límites de los estándares de calidad acuática para las categoría 4.

La concentración promedio de hidrocarburos de petróleo (HATD) para marzo en la bahía interior de Puno fue de 2,25 µg/L; en la bahía de Yunguyo: 0,06 µg/L y la en bahía de Desaguadero: 0,06 µg/L. Mientras que en Noviembre en la bahía interior de Puno fue de 0,35 µg/L; río llave 0,08 µg/L; desembocadura del río llave 0,12 µg/L y en Desaguadero 3,06 µg/L (Fig. 5.4). Todos estos valores superaron el límite establecido en los ECA para la categoría 4, siendo la zona de Desaguadero la que presentó un aumento significativo en la concentración de hidrocarburos de petróleo en la capa superficial del lago.

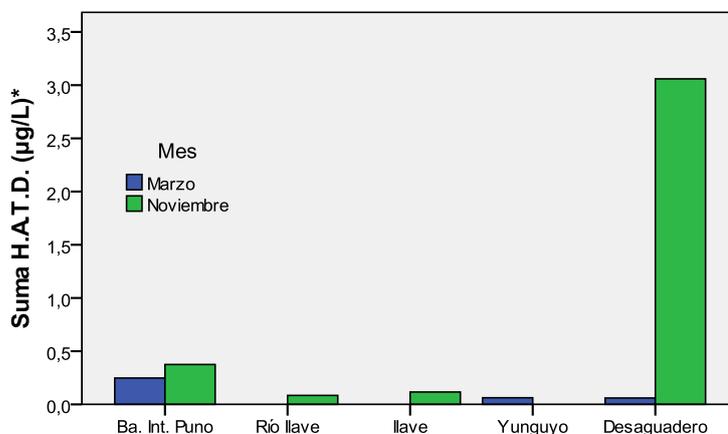


Figura 5.4.- Concentración de hidrocarburos de petróleo en agua superficial encontrados en marzo y noviembre de 2010.

Metales pesados en agua: Los análisis de metales pesados en trazas en agua superficial evidenciaron que el nivel de plomo (Pb) fue elevado en todas las estaciones de muestreo, encontrándose por encima de lo estipulado en los ECA para la categoría 4 (0,001 mg/L), en el río Torococha se encontró el valor más alto (0,008 mg/L). El valor de arsénico total en la desembocadura del río Suches fue de 0,013 mg/L, encontrándose ligeramente por encima de lo establecido en el ECA

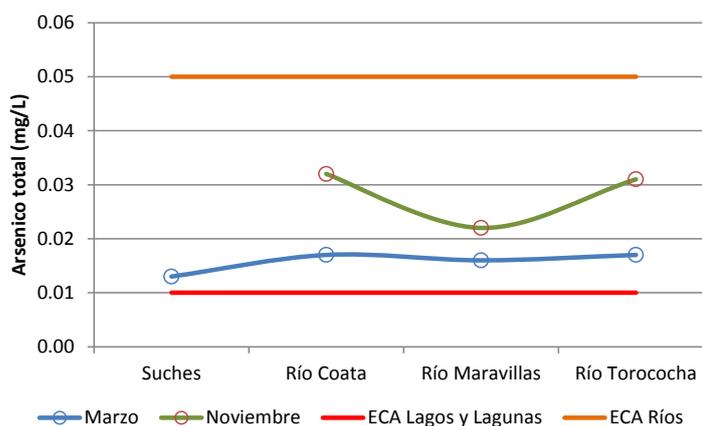


Figura 5.5.- Concentración de arsénico en agua superficial encontrado en marzo y noviembre de 2010.

para la categoría 4, (lagos y lagunas (0,01 mg/L), para noviembre no se tiene registro en esa zona, mientras que el arsénico en los ríos evaluados se encontró por debajo del valor establecido en los ECA (Figura 5.5). El mercurio se encontró con valores que sobrepasan los estándares de ambientales para la categoría 4 (0,0001 mg/L) en la zonas del río Torococha y la zona de desembocadura del río llave (marzo) y río Coata en noviembre (Figura 5.6). Mientras que los valores de cobre, cadmio y hierro no fueron significativos.

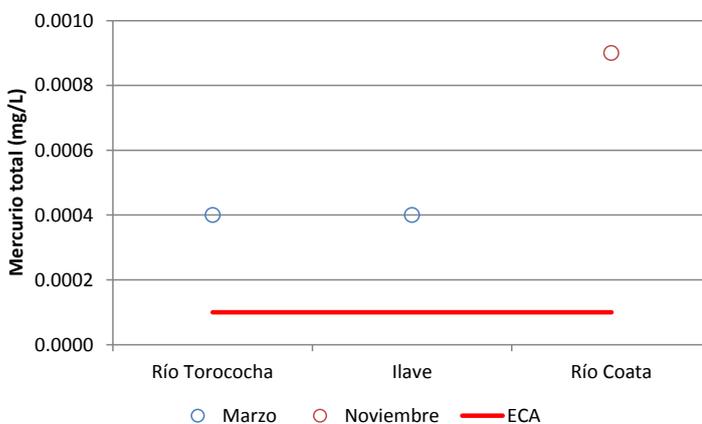


Figura 5.6.- Concentración de mercurio en agua superficial encontrado en marzo y noviembre de 2010.

Metales pesados en sedimentos: Para el estudio de traza de metales en sedimentos, ante la ausencia de legislación nacional, se adoptó los valores guía de Canadá (CCME, 2002): Niveles Guía Provisorios de Calidad de Sedimentos (ISQG) y Concentración de Efecto Probable (PEL). Las pautas de calidad para la protección de biota sugeridas para sedimentos de agua dulce por Environment Canadá consideran: a) Valores menores al ISQG: concentraciones raramente asociadas con efectos biológicos adversos; b) Valores mayores al ISQG y menores a la PEL: concentraciones ocasionalmente asociadas a efectos biológicamente adversos; c) Valores mayores a la PEL: concentraciones frecuentemente asociadas a efectos biológicamente adversos.

Los niveles de arsénico registrados en marzo en los sedimentos en las estaciones del río Suches, río y desembocadura del Ramis, Yunguyo y Desaguadero superan el valor establecido en el ISQG (5,9 mg/kg), registrándose el valor máximo en las zonas de Suches (15,13 mg/kg); mientras que en noviembre las zonas de los ríos Ramis e llave superaron el ISQG, pero se sitúan por debajo de las concentraciones de efecto probable (PEL=17,0 mg/kg). Mientras que los ríos Ramis, Maravillas y Coata presentaron valores por encima del PEL, siendo estas zonas críticas para la protección de la vida acuática (Figura 5.7).

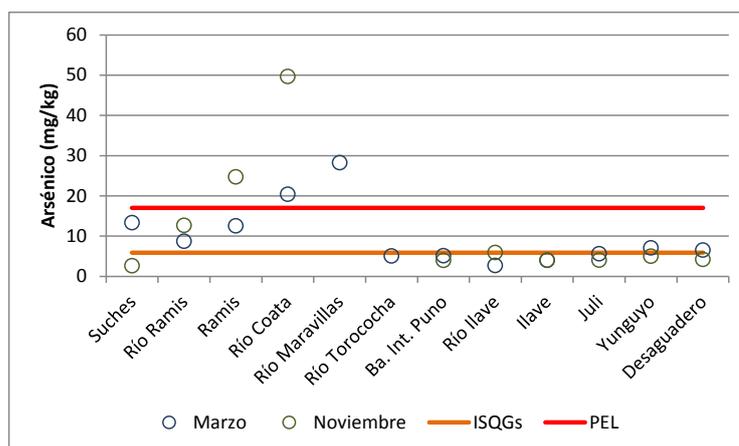


Figura 5.7.- Concentración de arsénico en sedimentos, encontrados en marzo y noviembre de 2010.

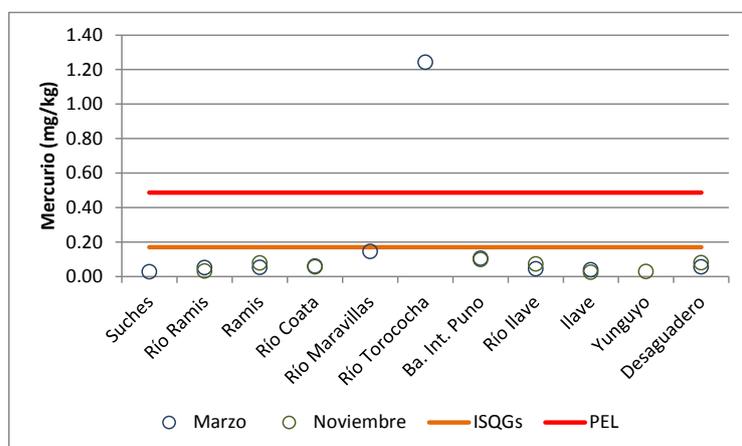


Figura 5.8.- Concentración de mercurio en sedimentos, encontrados en marzo y noviembre de 2010.

(Figura 5.8). La estación ubicada en el río Torococha (1,24 mg/kg) fue la única que superó la concentración de efecto probable (0.49 mg/kg).

El cobre en las estaciones de los ríos llave, Coata, Maravillas y Torococha; bahía interior de Puno (Universidad), desembocadura del río llave y Yunguyo superan los valores de ISQG establecidos por CCME, pero estos valores están muy por debajo de las concentraciones de efecto probable.

El Zinc en los sedimentos de la zona de estudio, presentó valores que superan al ISQG en las estaciones de los ríos Coata, Torococha e llave; desembocadura del río llave y Juli (zona sur), pero estos valores están muy por debajo de las concentraciones de efecto probable.

El mercurio es de los metales traza con mayor toxicidad para los organismos vivos, y generalmente está adsorbido al material en suspensión, que luego sedimenta. En la mayoría de las estaciones los valores no superan el valor establecido en el ISQG (0,17 mg/kg). La única estación que registró valores por encima del ISQG, se encontró próxima a la Universidad (bahía interior de Puno), pero con un valor medio para la bahía menor al ISQG. Sin embargo estos valores se mantienen por debajo del PEL

El plomo es un elemento ampliamente difundido en el ambiente, al igual que el mercurio tiene la capacidad de mutarse en los sedimentos. De los resultados obtenidos se desprende que dichas concentraciones no superan el ISQG establecido.

El hierro abunda en la corteza terrestre, pero su forma y solubilidad en agua dependen del pH y del potencial redox del agua. Los valores registrados en las estaciones de muestreo varían entre 1,58% a 3,12% referido a peso seco de la muestra. Estos valores están considerados elevados en contraste con otras áreas costeras.

Condiciones biológicas

En marzo las zonas Ramis, río Coata, río Torococha, bahía interior de Puno, río llave, Juli (zona sur) y río Desaguadero presentaron valores de CT (coliformes totales), pero solo la estación del río Desaguadero superó los valores de CTT (coliformes termotolerantes) establecidos en los estándares de calidad acuática para la categoría 4. En noviembre (Figura 5.9), los valores de CT en las zonas de Suches, Juli (estación 1) y Torococha superaron los límites establecidos en los ECA, para la categoría 4, pero se encontraron por debajo los límites de CTT, siendo las zonas de Suches y Torococha las que presentaron las concentraciones más significativas con 930 y 420 NMP/100ml de CTT respectivamente. Los valores de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), en la mayoría de las estaciones se ajustaron a los requisitos de calidad acuática establecidos en el ECA para la categoría 4, en la bahía interior de Puno, Yunguyo y río Torococha superaron este límite, registrándose en Torococha el valor más alto de DBO₅ (21,56 mg/L).

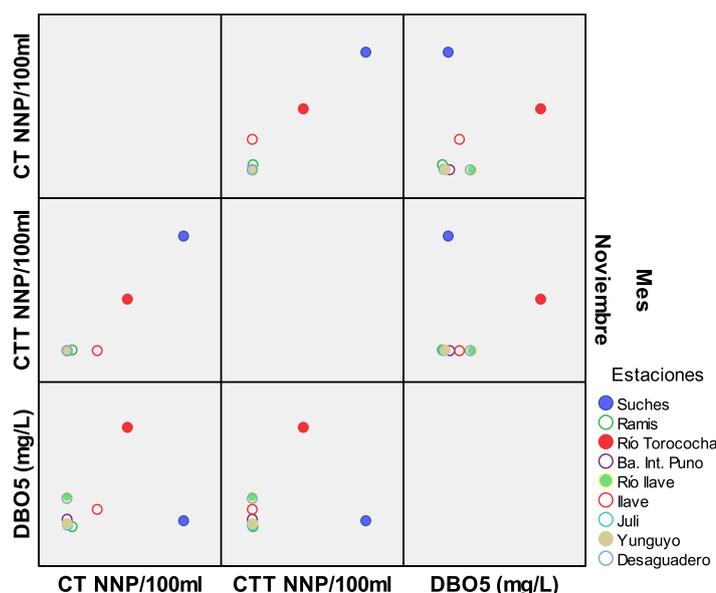


Figura 5.9.- Concentración de DBO₅ Coliformes totales y termotolerantes, encontrados en marzo y noviembre de 2010.

Composición del zooplancton: Durante el mes de marzo se determinaron en total 34 especies en la superficie (Figura 5.10a) y 08 en el fondo (Figura 5.10b). La zona superficial estuvo comprendida en 05 grupos: Protozoa (02), Rotifera (17), Branchiopoda-Cladocera (09), Crustacea (05) y Nematoda (01). Mientras que, en fondo solo 03 grupos: Rotifera (06), Branchiopoda-Cladocera (01), Crustacea-Copepoda (01). En la zona superficial, el mayor número de especies promedio se encontró en la Bahía de Yunguyo (14 ± 3 especies) y Desaguadero con 13 ± 1 especies, destacando el grupo Rotifera para ambos lugares.

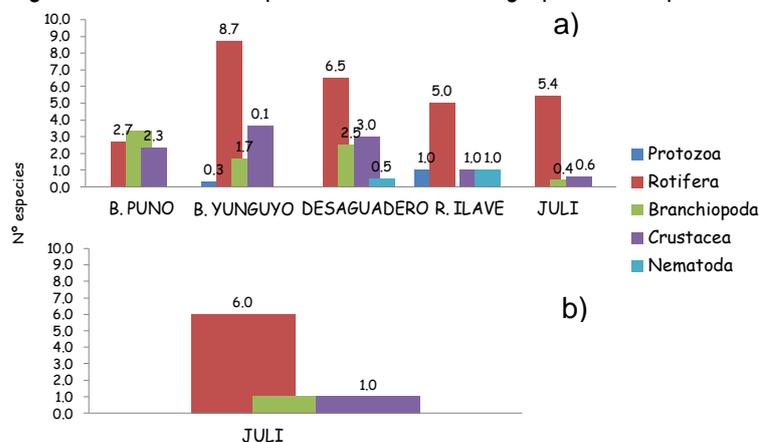


Figura 5.10.- Distribución espacial del número de especies por grupo taxonómico de la comunidad zooplanctónica: a) superficie y b) fondo.

Para primavera (noviembre) se determinaron un total 36 taxas o especies (Figura 5.11) que estuvieron comprendidas en 07 grupos: Protozoa-Ciliata (04), Rotifera (17), Branchiopoda-Cladocera (07), Crustacea:Copepoda-Ostracoda (05), Arthropoda-Insecta (01), Platyhelminthes-Turbellaria (01) y Nematoda (01)

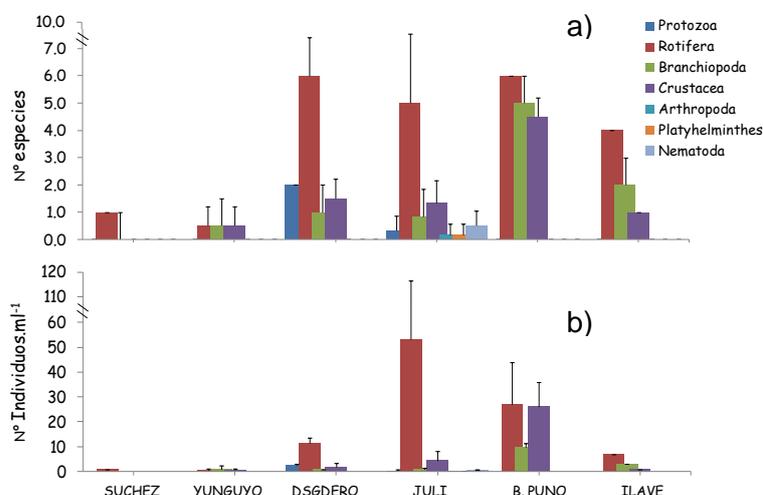


Figura 5.11.- Distribución espacial: a) número de especies y b) abundancia por grupos taxonómicos de la comunidad zoo planctónica, noviembre 2010.

Abundancia: En cuanto a las abundancias para el mes de marzo, los valores promedio en superficie fluctuaron entre 19.7 ± 6.7 ind.ml⁻¹ (bahía Puno) y 109.5 ± 0.1 ind.ml⁻¹ (bahía de Yunguyo) (Figura 5.12). Siendo el grupo más abundante los rotíferos, con promedios entre 53 ind.ml⁻¹ en superficie y 117 ind.ml⁻¹ en fondo con dominancia numérica promedio de *Polyarthrasp* (15 ind.ml⁻¹), *Pompholixsp* (14 ind.ml⁻¹) y *Keratellaquadrata* (12 ind.ml⁻¹) (Figura 5.12).

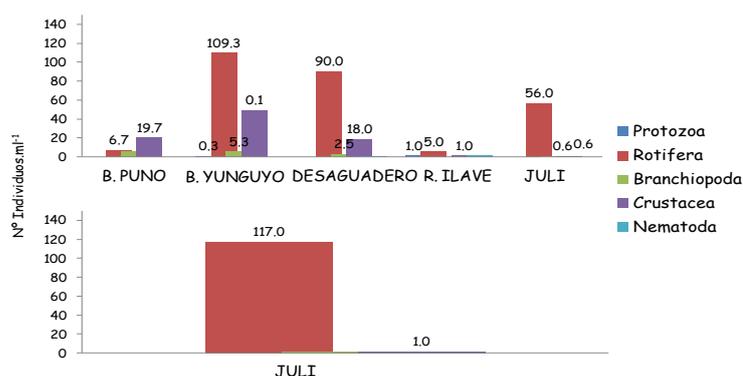


Figura 5.12.-Distribución espacial de la abundancia por grupo taxonómico de la comunidad zooplanctónica: a) superficie y b) fondo.

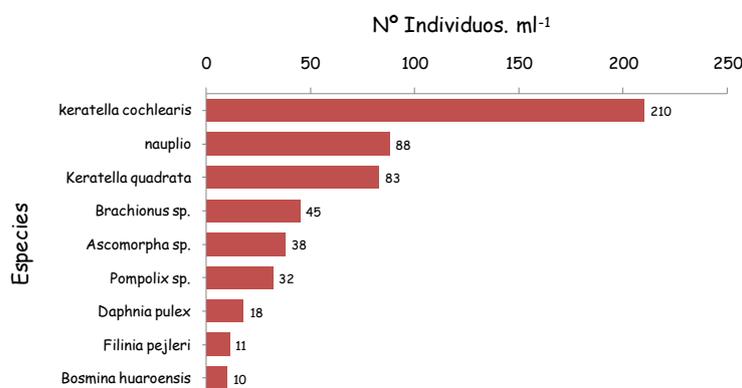


Figura 5.13.- Abundancia relativa de las principales especies de la comunidad zooplanctónica, noviembre 2010.

El zooplancton en el mes de noviembre reportó una abundancia total entre 210 ± 10 ind.ml⁻¹ en superficie, la zona de bahía Puno reporto una abundancia de 68 ± 22 ind.ml⁻¹. Seguido de la zona de Juli - Desaguadero con 60 ± 66 y 17 ± 10 ind.ml⁻¹ respectivamente (Fig. 5.13).

Índices de diversidad: La riqueza de especies durante el mes de marzo (Figura 5.14a) fluctuó entre 1,39 (Juli) y 3,37 (Rio llave). Los valores de equidad (J') fluctuaron entre 0,50 y 1,00. Mientras que la

diversidad de Shannon (H') fluctuó entre 1,81 (Desaguadero) y 2,73 bits.ind⁻¹ (bahía de Yunguyo). Para noviembre (Figura 5.14b), la riqueza de especies fluctuó entre 1,0 (Suchez) y 15 (bahía Puno). Mientras que la diversidad de Shannon (H') fluctuó entre 0,0 (Suchez) y 3 bits.ind⁻¹ (bahía Puno), La mayor diversidad

reportada, estuvo asociada con una mejor distribución de las abundancias de especies en la bahía de Yunguyo (Figura 5.14b).

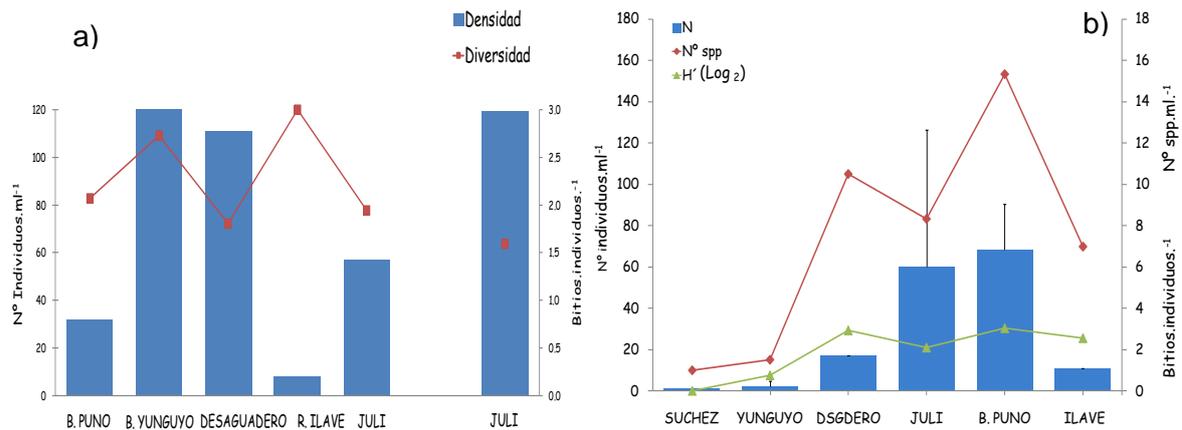


Figura 5.14.- Distribución espacial de la abundancia y diversidad de la comunidad zooplanctónica: a) marzo y b) noviembre 2010.

Análisis comunitario: En el mes de marzo el análisis de escalamiento multidimensional no métrico NMDS, se observó aun estrés de 0,09. Donde se observa la formación de dos grupos (Figura 5.15a). El grupo 1 formado por las estaciones con mayor abundancia de las localidades de bahía Puno, Yunguyo, Desaguadero y Juli, siendo importante el aporte numérico de los rotíferos y copépodos (*Polyarthrasp*, *Pompolixsp* y *Keratellaquadrata*), bahía Puno conforma el segundo grupo, con dominancia de los copépodos en estadio de nauplio. Para el mes de noviembre el análisis NMDS, se observan aun estrés de 0,07 y; la formación de dos grupos cercanos entre sí (Figura 15b); para primavera de 2010. El grupo 1 formado por las estaciones de bahía Puno (BP1, BP2, BP3) y Juli (J2, J3, J4, J5, J6), con máximos en abundancia (~60 ind.ml⁻¹), debido a la dominancia de los rotíferos del genero *Keratella*. Además de una alta diversidad por el aporte de los grupos de cladóceros y copépodos-Nauplio. El segundo grupo formado por puntos muestreados en Desaguadero (D1, D2), los cuales mostraron menores abundancias dominado por rotíferos pero con alta diversidad específica debido a la presencia del grupo de los ciliados del genero *Vorticella*.

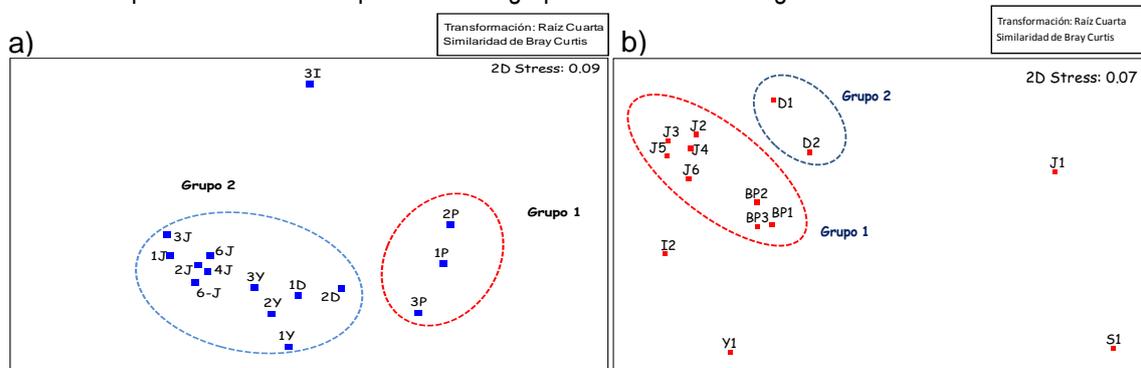


Figura 5.15.- Análisis de escalamiento no métrico multidimensional (NMDS) de la comunidad zooplanctónica: a) marzo y b) noviembre.

Composición, distribución y abundancia del fitoplancton

Se registraron un total de 33 géneros en superficie, que estuvieron representados por cuatro división Chlorophyta (87,9%), Bacillariophyta (11,0%), Cyanophyta y Pyrrophyta (0,2%) (Figura 5.16).

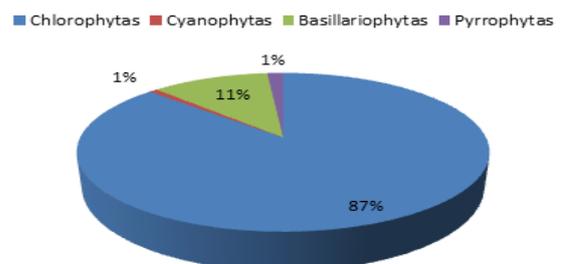


Figura 5.16.- Composición porcentual de la flora planctónica

A nivel superficial los grupos Chlorophyta, Pyrrophyta y Cyanophyta fueron los más representativos (Figura 5.17). Dentro de las Chlorophyta predominaron los géneros *Scenedesmus* sp. con 2290 nd.ml⁻¹ (Ramis) y *Oocystis* sp. 1502 nd.ml⁻¹ (bahía interior de Puno). Las Pyrrophyta estuvieron representadas por *Glenodinium* sp. con 2990 (Ramis) y *Peridinium* sp. con 1371 nd.ml⁻¹ (Juli), y las Cianophytas estuvieron representadas por el género *Anabaena* sp. (Ramis).

Los índices de diversidad: de las zonas evaluadas a nivel superficial (Figura 5.18), presentaron valores de diversidad moderada de Shannon de hasta 2 bits/ind. El cual es un buen indicador complementado por la dominancia de ciertos grupos o géneros del fitoplancton para estimar el grado de avance del proceso eutrófico. La mayor concentración de especies se localizó en Juli seguido de Ramis, mientras que la zona de Desaguadero, llave, y bahía Puno presentaron bajos niveles de densidad y diversidad.

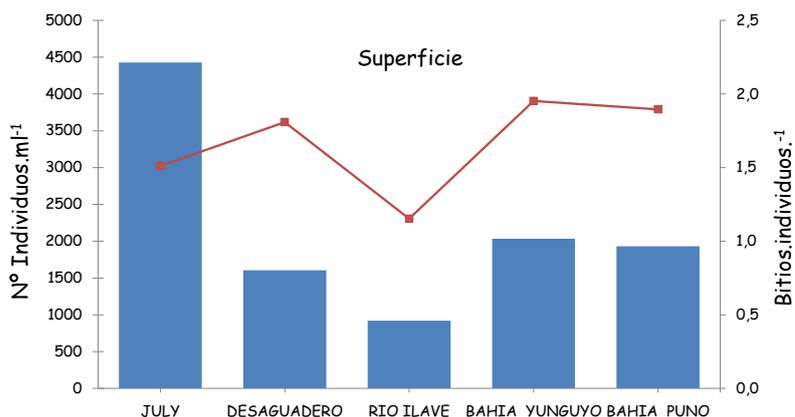


Figura 5.17.- Variación de los parámetros comunitarios: densidad y diversidad de Shannon a nivel superficie y fondo, en marzo 2010.

Comunidades bentónicas

La comunidad de macro-invertebrados bentónicos en seis áreas del Lago Titicaca (Ramis, bahía interior de Puno, llave, Juli, Yunguyo y Desaguadero), durante los muestreos de marzo y noviembre presentó las siguientes características.

Abundancia de macro-invertebrados bentónicos: El detalle de los principales parámetros comunitarios e índices de diversidad encontrados durante el estudio se indican en las Tablas 5.1 y 5.2.

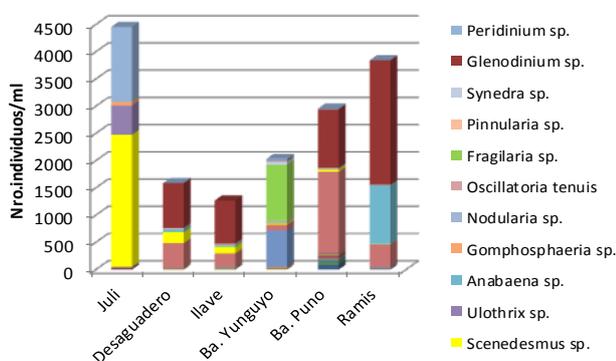


Figura 5.18.- Distribución espacial del número de especies por grupo taxonómico de la comunidad fitoplanctónica en superficie marzo 2010.

Tabla 5.1.- Parámetros comunitarios bentónicos. Estudio de contaminación acuática en el Lago Titicaca y principales efluentes. Marzo de 2010.

Localidad	Fecha	Estación	profundidad (m)	S	N	d	J	D	H' (Log2)
Ramis	24-Mar	R4	3.0	1	20	0.000		1.000	0.000
		R5	2.5	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000
		R6		2	100	0.217	0.971	0.029	0.971
Puno	25-Mar	P1	2.0	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000
		P2		0	0	0.000	0.000	0.000	0.000
		P3		0	0	0.000	0.000	0.000	0.000
Ilave	26-Mar	I2	1.5	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000
		J1	15.0	4	320	0.520	0.825	0.175	1.649
Juli	27-Mar	J2	18.0	4	560	0.474	0.765	0.235	1.531
		J3	15.0	3	500	0.322	0.731	0.269	1.159
		J4	13.0	3	300	0.351	0.442	0.558	0.700
		J5	16.0	2	60	0.244	0.918	0.082	0.918
		J6		3	100	0.434	0.865	0.135	1.371
Yunguyo	28-Mar	Y1	2.0	6	1180	0.707	0.717	0.283	1.852
		Y2	5.0	6	540	0.795	0.818	0.182	2.115
		Y3		7	2300	0.775	0.724	0.276	2.031
Desaguadero	28-Mar	D1	2.0	2	100	0.217	0.722	0.278	0.722
		D2	3.0	3	300	0.351	0.803	0.197	1.273
		D3R		3	120	0.418	0.921	0.079	1.459

Tabla 5.2.- Parámetros comunitarios bentónicos. Estudio de contaminación acuática en el Lago Titicaca y principales efluentes. Noviembre de 2010.

Localidad	Fecha	Estación	profundidad (m)	S	N	d	J	D	H' (Log2)
Ramis	23-nov	R4	3.0	3	140	0.405	0.914	1.449	0.388
		R5	2.5	4	14780	0.312	0.077	0.155	0.965
		R6		5	6000	0.460	0.350	0.813	0.747
Puno	27-nov	BP1	2.0	0	0			0	
		BP2		0	0			0	
		BP3		0	0			0	
Suches	22-nov	S1	1.5	2	80	0.228	0.811	0.811	0.625
Juli	25-nov	J1	15.0	3	440	0.329	0.525	0.832	0.690
Yunguyo	24-nov	Y1	2.0	1	20	0.000		0	1.000
		Y2	5.0	1	40	0.000		0	1.000
Desaguadero	24-nov	D1	2.0	2	2180	0.130	0.132	0.132	0.964
		D2	3.0	2	580	0.157	0.480	0.48	0.815
		D3		3	420	0.331	0.608	0.964	0.619

En marzo los taxa Amphipoda (Crustacea, Arthropoda) y Gastropoda (Mollusca), registraron una mayor dominancia numérica (45,9 y 35,2 %, respectivamente) en todas las zonas evaluadas. Destacaron las especies *Hyallelasp.* (Amphipoda) y *Littoridinasp.* (Gastropoda). El análisis de clasificación numérica construyó grupos vinculados a cada localidad de estudio, la más abundante *Hyallelasp.* caracterizó a Yunguyo y Desaguadero. El grupo *Littoridinasp.* Caracterizó a dos estaciones de Juli y Yunguyo. En noviembre fueron registrados 07 taxa, distribuidos en cinco grandes grupos: 01 Insecta, 03 Mollusca, 02 Annelida y 01 Arthropoda (Crustacea), el grupo de organismos mejor representado numéricamente fue Annelida-Oligochaeta (84%), seguida de Crustacea con 12%. El aporte de los taxa encontrados a los grandes grupos fue de 37% entre los Mollusca y 25% en Anelida y Crustacea. En Amphipoda fue importante la presencia de las especies *Hyallelasp.* (3060 Ind.m⁻²) y del grupo de Gastropodacom *Littoridinasp.* (360 Ind.m⁻²) además del bivalvo *Pisidiumsp.* Los oligochaeta dominaron ampliamente en número en la localidad de Ramis, indicador de aguas deterioradas en su calidad. Notamos además que la zona de la bahía interior de Puno, con tres estaciones muestreadas, al igual que el muestreo anterior realizado en marzo, no presentó organismos, constituyendo pues una señal muy clara de la crítica situación del cuerpo de agua para esta zona, encontrándose cerca de 40% de materia orgánica en sedimentos. Los valores de los índices de diversidad de Shannon en las estaciones < 2,1 bits/ind (marzo) y <1,0 bits/ind (noviembre) corroboran el continuo y permanente deterioro ecológico de las zonas. Los resultados antes descritos están relacionados a las bajas puntuaciones en el índice BMWP (entre 03 y 20), pertenecientes a calidad de agua IV y V (Tabla 5.3).

Tabla 5.3.- Estaciones de muestreo y aplicación del índice BMWP y el ASPT. Estudio de contaminación acuática en el lago Titicaca y principales efluentes (marzo y noviembre 2 010).

MARZO 2010								
ZONA	Fecha	Est.	valor BMWP	N° de taxones presentes	índice medio por taxon (ASPT)	clase	Calidad acuática	agua (significado)
Ramis	24-Mar	R4	4	1	4	V	Muy crítica	fuertemente contaminada
		R5	4	1	4	V		
		R6	9	3	3	V		
Puno	25-Mar	P1	0	0		V	Muy crítica	fuertemente contaminada
		P2	0	0		V		
		P3	0	0		V		
Ilave	26-Mar	I2	0	0		V	Muy crítica	fuertemente contaminada
		J1	21	3	7	IV		
		J2	24	4	6	IV		
Juli	27-Mar	J3	18	3	6	IV	Muy crítica	fuertemente contaminada
		J4	12	3	4	V		
		J5	10	2	5	V		
		J6	16	3	5	IV		
Yunguyo	28-Mar	Y1	22	4	6	IV	crítica	contaminada
		Y2	27	5	5	IV		
		Y3	27	5	5	IV		
Desaguadero	28-Mar	D1	7	1	7	V	Muy crítica	fuertemente contaminada
		D2	10	2	5	V		
		D3R	10	2	5	V		
NOVIEMBRE 2010								
ZONA	Fecha	Est.	valor BMWP	N° de taxones presentes	índice medio por taxon (ASPT)	clase	Calidad acuática	agua (significado)
Ramis	23-nov	4	8	3	3	V	Muy crítica	fuertemente contaminada
		5	15	4	4	V		
		6	20	5	4	V		
Puno	27-nov	1	0	0		V	Muy crítica	fuertemente contaminada
		2	0	0		V		
		3	0	0		V		
Suches	22-nov	1	3	2	2	V	Muy crítica	fuertemente contaminada
Juli	25-nov	1	18	3	6	IV	crítica	contaminada
Yunguyo	24-nov	I	3	1	3	V	Muy crítica	fuertemente contaminada
		II	3	1	3	V		
Desaguadero	24-nov	I	10	2	5	V	Muy crítica	fuertemente contaminada
		II	10	2	5	V		
		3	14	3	5	V		

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Acleto O. 1966. Algas de agua dulce de las cascadas de barranco. Publicaciones del Museo de Historia Natural "Javier Prado". No. 21. 171 pp.

Acosta P. y A. Ponce. 1979. Algas superficiales del Lago Titicaca. Centro de Investigaciones pesqueras. Universidad nacional Federico Villarreal. Publicación 1. 40pp.

Aldave Pajares, A. 1989. Algas. Editorial Libertad E.I.R.L. Trujillo-Perú. PrimeraEdición. 459 pp.

American Public Health Association (APHA). 2005. Standard methods for the examination of water & wastewater. 21st ed.

Añon, D. 1991. Distribución del bentos del lago Escondido (Río Negro, Argentina) con especial énfasis en los quironómidos (Diptera, Chironomidae). StudiesonNeotropical Fauna and Environment. 26: 149-157.

Arocena R. y Conde D. 1999. Métodos en ecología de aguas continentales. Comisión sectorial de Investigación Científica. Uruguay. 233 pp.

Beauchamp, P. 1939. RotiferesetTurbellaries. In The Percy sladen trust expedition to lake Titicaca in 1937. Trans. Limn. Soc. London, London. Vol. 1, n. 1, 51-79 pp.

- Belcher H, Swale E. 1979. An illustrated guide to river phytoplankton. McCorquodale Printers Ltd. London. 64 pp.
- Burton M.A.S. 1986. Biological monitoring of environmental contaminants (plants), Londres. Monitoring and assessment research Center, King's College London University of London, 247 pp (A technical report, 1986).
- Chessman, B., I. Gowns, J. Currey & N. Plunkett-Cole. 1999. Predicting diatom communities at the genus level for the rapid biological assessment of rivers. *Freshwater Biology*. 41: 317-331.
- Cummins, K. 1992. Invertebrates. In: Calow P & G Petts (eds). *The rivers handbook. Hydrological and Ecological principles*. Calow P & G Petts. 1: 234-250.
- Dejoux C. 1991. Los Anfípodos. En: *El Lago Titicaca. Síntesis del conocimiento Limnológico Actual*, editores Claude Dejoux y André Ildis. 353-362 pp.
- Fontúrbel F, García G, Brun N, Ferrifino M, Rocha R. 2003. Propuesta de producción sostenible del *Telmatobiusculeus* (Anura: Leptodactylidae) en el lago Titicaca, mediante la implementación conjunta de un sistema de control de calidad ambiental. En: Fontúrbel F. & G. García (eds.), *Propuestas para un desarrollo Sostenible: Lago Titicaca por estrategias K*. Publicaciones Integrales, La Paz: 19-52.
- Fontúrbel F. 2004. Modelo operacional ambiental y aspectos sociales relevantes del proceso de eutrofización localizada en cuatro estaciones experimentales del lago Titicaca. *Publicaciones Integrales*. La Paz. 241 p.
- Gowns, I. 1999. Is genus or species identification of periphytic diatoms required to determine the
- Harding, J. P. 1955. XIX Crustacea: Cladocera. *The transactions of the Linnean Society of London* 1 (3): 329-354.
- Hellawell, J. 1986. *Biological indicators of freshwater pollution and environmental management*. Pollution Monitoring Series. Elsevier Applied Science. 546 pp.
- Kiefer, F., 1957. Freilebende Ruderfußkrebse (Crustacea, Copepoda) des Titicacasees. *Veröff. Zool. Staatssamml. München* 4: 125-150.
- Margalef, R. 1983. *Limnología*. Eds Omega, Barcelona. 1010 pp.
- Menu-Marque Silvana, J. J. Morrone and C. Locascio de Mitrovich. 2000. Distributional patterns of the South American Species of *Boeckella* (Copepoda: Centropagidae): A track Análisis. *Journal of Crustacean Biology*, 20(2):262-272.
- Northcote T. 1991. Eutrofización y problemas de polución. En: Dejoux C. & A. Ildis (eds.), *El Lago Titicaca: Síntesis del Conocimiento Limnológico Actual*. Hisbol-Orstom, La Paz: 563-572.
- Oldepesca. 1987. contribución al conocimiento del fitoplancton del lago Titicaca. Documento de pesca 003. Organización Latinoamericana de Desarrollo Pesquero. Lima - Perú. 82 pp.
- Prescott, G. W. 1978. *How to know the freshwater algae*. Wm. C. Brown Co. Publishers. Iowa.
- Tallberg, P., J. Horppila, A. Väisänen & L. Nurminen. 1999. Seasonal succession of phytoplankton and zooplankton along a trophic gradient in a eutrophic lake-implications for food web management. *Hydrobiologia*. 412: 81-94.
- Valdovinos, C. & R. Figueroa. 2000. Benthic community metabolism and trophic conditions of four South American lakes. *Hydrobiologia*. 429: 151-156.