



PERÚ

Ministerio  
de la Producción

Instituto  
del Mar del Perú  
IMARPE

# INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ

## Laboratorio Continental de Puno



# INFORME ANUAL 2010

## Actividades desarrolladas



# INFORME ANUAL 2010

Av. Circunvalación Sur N° 1911  
Barrio San Martín – Puno  
Telefax: 051-366241

**INFORME ANUAL 2010  
LABORATORIO CONTINENTAL DE PUNO**

	Pag.
RESULTADOS: Evolución de Indicadores Biológico – Pesqueros del Lago Titicaca (Monitoreo Biológico) Convenio IMARPE – FONCHIP. Autores: Marceliano Segura, Hugo V. Treviño Bernal, René Chura Cruz, Hilda F. Ninaraqui Lupaca	2
RESULTADOS: Pescas exploratorias con fines de evaluación de especies nativas en zonas litorales del Lago Titicaca. Autores: René Chura Cruz y Ernesto Yujra	12
RESULTADOS: Monitoreo bio-ecológico de la Laguna Saracocha y Alonso. Convenio IMARPE – PELT. Autores: René Chura Cruz y Aníbal Aliaga	13
RESULTADOS: Programa de estimación de la abundancia y biomasa de los recursos pesqueros en el Lago Titicaca. Convenio IMARPE – FONCHIP. Autores: Marceliano Segura, Aníbal Aliaga, Armando Crispín y César Gamarra	27
RESULTADOS: Variabilidad limnológica en tres líneas fijas en el Lago Titicaca. Autores: César Gamarra y Edith Pari	39
RESULTADOS: Información sobre la temperatura superficial del Lago (TSL) y oxígeno disuelto superficial en estaciones fijas del Lago Titicaca Autores: César Gamarra y Edith Pari	49
RESULTADOS: Sistema de monitoreo limnológico de los principales parámetros físico – químicos en zonas seleccionados del Lago Titicaca. Convenio IMARPE – FONCHIP Autores: César Gamarra y Carmen Villanueva	52
RESULTADOS: Programa de estudio de contaminación acuática en el Lago Titicaca y sus principales afluentes. Convenio IMARPE – FONCHIP Autores: César Gamarra y Carmen Villanueva	59

**INSTITUTO DEL MAR DEL PERU  
LABORATORIO CONTINENTAL DE PUNO  
INFORME ANUAL 2010**

**OBJETIVO ESPECÍFICO N° 17: SEGUIMIENTO DE PESQUERÍAS DE AGUAS CONTINENTALES**

Diagnosticar, evaluar y monitorear el estado de las poblaciones de los principales recursos pesqueros de la Cuenca del Lago Titicaca, así como de las principales variables ambientales que determinen la calidad del medio acuático, con el fin de actualizar el conocimiento de las características biológico – pesqueras, sus variaciones espacio – temporales y su relación con la producción pesquera y acuícola, para recomendar un manejo adecuado del ecosistema

**RESULTADOS: EVOLUCIÓN DE INDICADORES BIOLÓGICOS-PESQUEROS DEL LAGO TITICACA (MONITOREO BIOLÓGICO DEL LAGO TITICACA, CONVENIO FONCHIP – IMARPE).**

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 entre 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
<b>TOTAL</b>	<b>1.172.500,0</b>	<b>1.425.277,7</b>	<b>21,6</b>

Las variaciones entre especies 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%).

De la evolución mensual, el pejerrey destaca entre marzo y mayo; mientras 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.

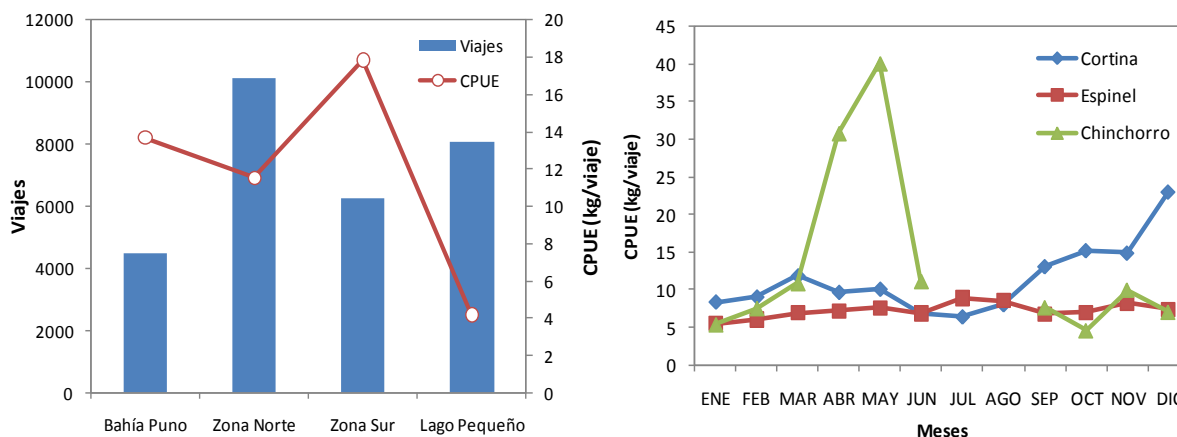
### Desembarque por Zonas

En la **Zona Norte** (39% del total capturado) de 9 especies, en la zona de Ramis y Huarisani, se registró la predominancia del pejerrey. 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 la 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 el CPUE anual más alto 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 el CPUE más alto de 15 kg/viaje, seguido cortina 11,2 kg/viaje y el espinel 7 kg/viaje. Las fluctuaciones mensuales del CPUE para las embarcaciones cortineras, el máximo se determinó 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, las chinchorreras y/o tipo bolsa utilizados para la pesca de alevinos y juveniles del pejerrey registró el 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.

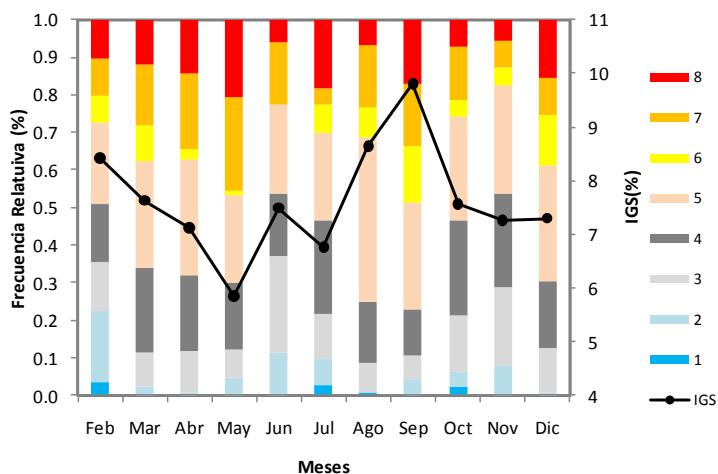
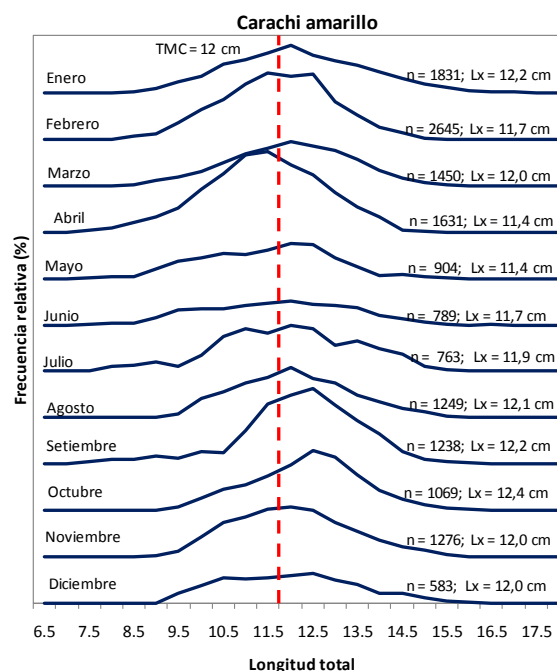
## Aspectos Biológicos de las Principales Especies Desembarcadas

### 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 ( $L_{\infty}$  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 asintótica de 17,9 cm, curva de crecimiento de  $0,69 \text{ año}^{-1}$  y un valor de  $t_0$  de  $-0,038$ . Los parámetros de crecimiento indican, un pez relativamente pequeño, de vida corta y crecimiento moderado.



**Madurez Sexual y la evolución del IGS:** La proporción sexual ligeramente favorable a las hembras ( $\text{♂♂}:\text{♀♀} = 1,0:1,5$ ;  $X^2 = 129$ ,  $P \leq 0,05$ ).

Para efectos explicativos, el desarrollo gonadal según estadios se agrupó en inmaduros (estadios I y II), madurantes (estadios III, IV y V), desovantes (VI y VII) y en reposo (VIII).

De la evolución mensual del desarrollo gonadal en hembras de carachi amarillo según

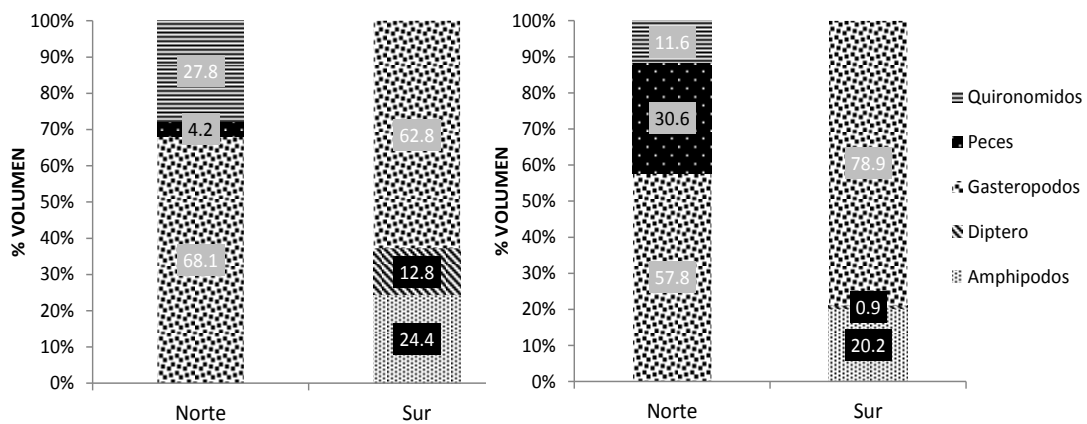
predominancia porcentual por estadios se determinó dos períodos, primero, los peces inmaduros sobresalieron en abril-mayo, seguido por los madurantes (desde junio hasta agosto), luego los desovantes (entre setiembre y octubre) y los de recuperación (diciembre hasta enero). El otro período, se inició en setiembre y terminó en mayo. Estos resultados sobre el periodo reproductivo, concuerdan con la evolución del IGS. En el mes de setiembre se dio el valor más alto de IGS (9,8%) y el más bajo en mayo (5,9%). Se identificó dos pulsos de desove, el más intenso entre agosto y octubre; y el menos intenso de febrero a abril.

**Talla de primera madurez gonadal:** De una muestra de 157 ejemplares con un rango de tallas de 9,5 – 16,5 cm, la talla de la primera madurez gonadal fue de 10,6 cm con IC (95%) de 10,3 – 10,9 cm.

**Fecundidad:** Se analizó 35 gónadas en estadios V y VI de madurez sexual, siendo el pez más pequeño de 9,2 cm LT, peso corporal de 17,4 g y un peso de la gónada de 2 g, y el más grande de 14,9 cm LT, peso corpóreo de 97,2 g y peso gonadal de 14,2 g. La fecundidad total se determinó entre 2 372 y 13 726 óvulos y la fecundidad parcial (ovas maduras a ser expulsadas) de 190 a 1 588 ovas. Los óvulos inmaduros representan el mayor número dentro de la gónada (78%), seguido de óvulos maduros (12%) y madurantes (10%). El diámetro de las ovas maduras fue de 1,7 mm.

**Relación Longitud – Peso (RLP):** Ecuación de relación longitud – peso: Machos  $P = 0,021L^{3,105}$  y Hembras  $P = 0,015L^{3,299}$ .

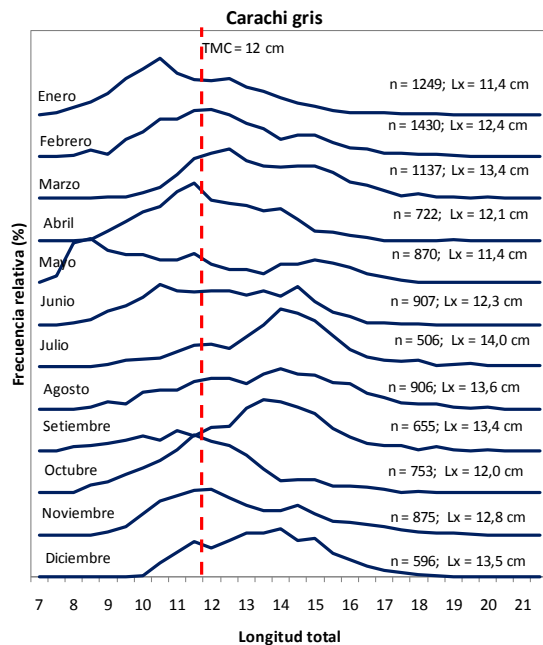
**Alimentación:** De la evaluación 23 estómagos de carachi amarillo colectados entre mayo y junio de la Zona Norte y Sur, se determinó la preferencia en ambas zonas por los gasterópodos (número y volumen). En la Zona Norte continuó con preferencia por peces y larvas de quironómidos (volumen). Mientras, en la Zona Sur con selectividad por anfípodos y dípteros.

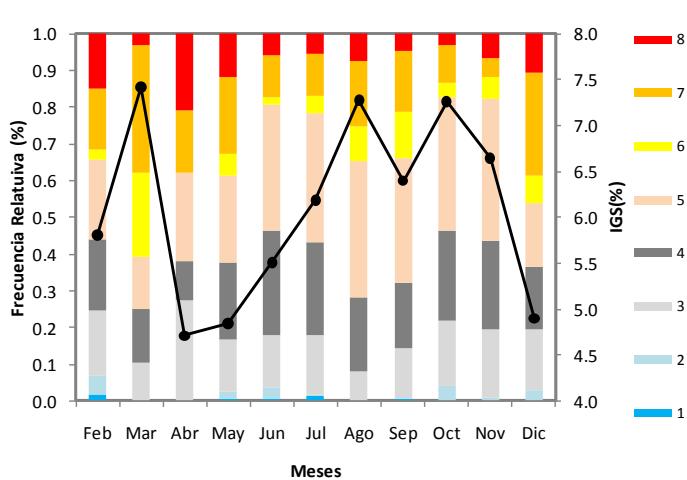


### Carachi gris (*Orestias agassii*)

**Composición por tamaños:** Se registraron tallas entre 7 y 21,5 cm, para un tamaño de muestra (n) de 10 655 ejemplares, con fluctuaciones de la media entre 11,4 cm (mayo) y 14,0 cm (julio). El porcentaje de incidencia de juveniles se registró en 60,8 %, con un mínimo en julio (14,8%) y máximo en enero (60,8%). De 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, curva de crecimiento de  $0,52 \text{ año}^{-1}$  y un valor de  $t_0$  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 ( $\sigma^{\sigma}:\sigma^{\sigma} = 1,0:2,6$ ;  $X^2 = 557$ ,  $P \leq 0,05$ ). 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

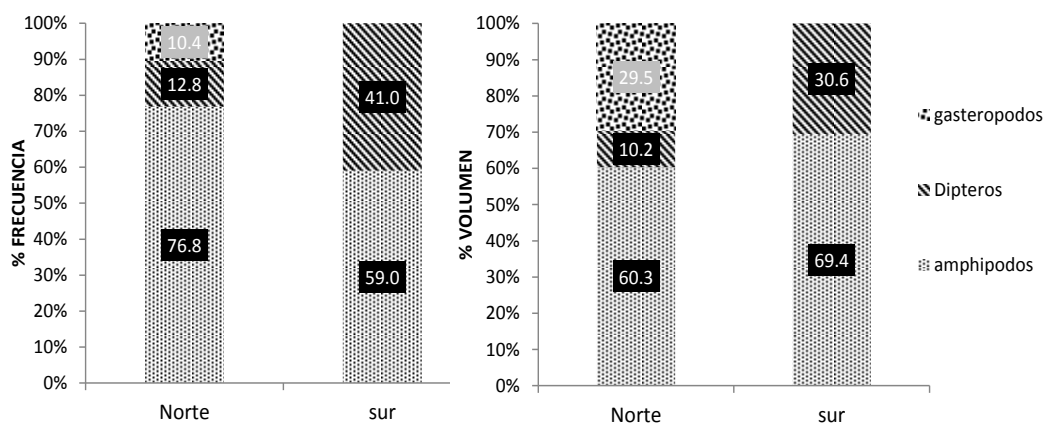
(de abril a mayo). El otro período se inició en abril y terminó en noviembre. Estos resultados de la evolución gonadal, concuerdan con la evolución del IGS. El valor máximo de IGS se determinó en marzo (7,4%) y el mínimo en abril (4,7%). Se identificó un pulso de desove en otoño (febrero - abril) y otro 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 individuos 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 predominó los dípteros (número y volumen).

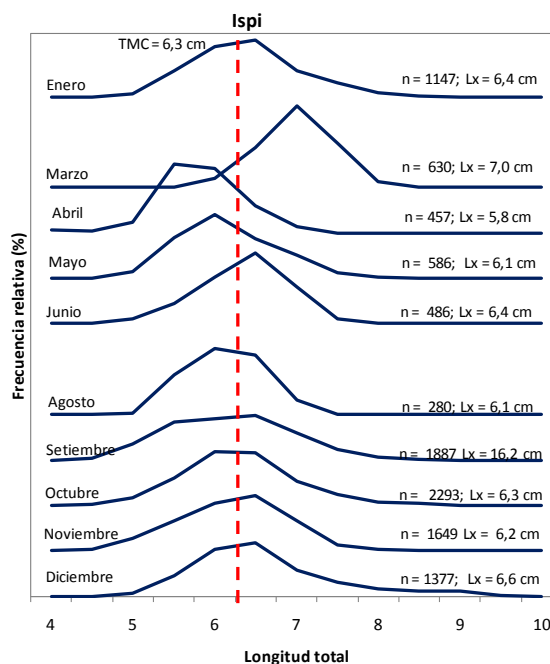


## Ispi (*Orestias ispi*)

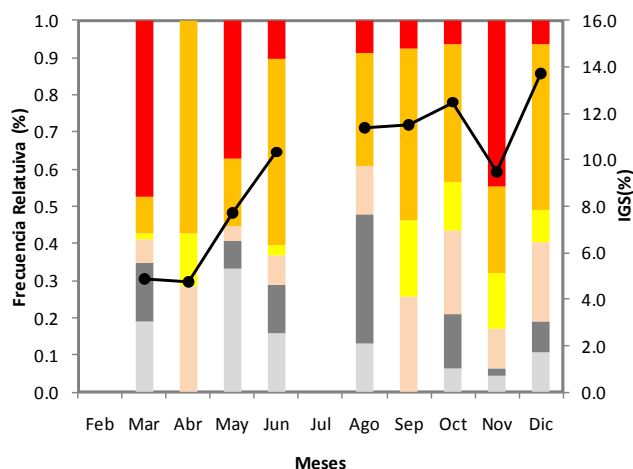
**Composición por tamaños:** Se midieron 10 792 ejemplares, determinándose un rango de tallas 4 a 9,5 cm, con medias que fluctuaron de 5,8 cm (abril) a 7 cm (marzo). El porcentaje de incidencia de juveniles fue 47,1%, con un mínimo en marzo (5,2%) y máximo en abril (81,6%). El reclutamiento se dio en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

**Edad y crecimiento** Se determinó una longitud asintótica ( $L_{\infty}$ ) 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 ( $\text{♂}:\text{♀} = 1,0:1,1$ ;  $X^2 = 2,18 \text{ N.S.}, P \leq 0,05$ ).



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 determinaron dos pulsos de desove: el primero entre diciembre – marzo y el segundo, desde setiembre a noviembre.

**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  $P = 0,0252L^{2,4231}$

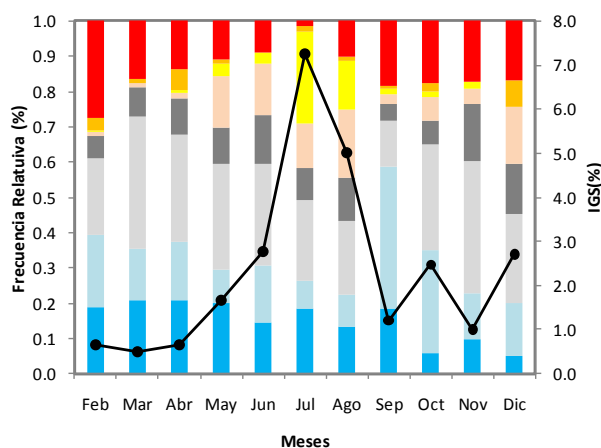
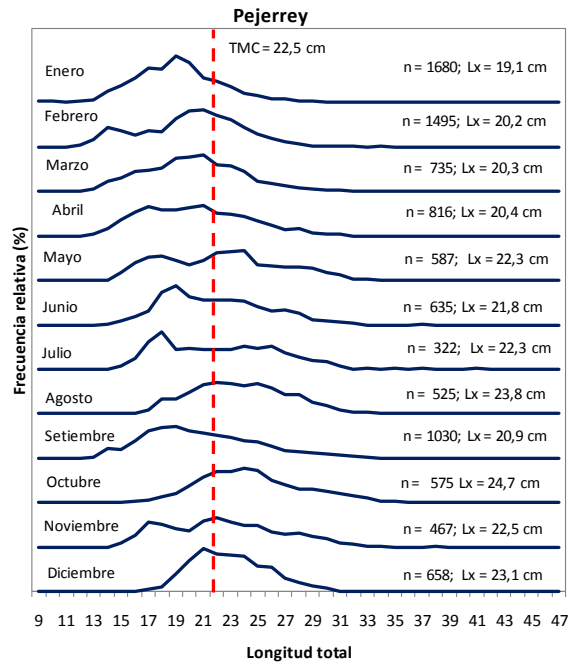
**Fecundidad:** Se analizó 12 gónadas en estadios V y VI de madurez gonadal, siendo el ejemplar más pequeño de 6,2 cm LT, peso corporal de 4 g y un peso de la gónada de 0,87g, y el más grande de 9,5 cm LT, peso corpóreo de 10,2 g y peso gonadal de 2,3 g. El número de óvulos maduros fluctuó entre 218 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 ( $L_{\infty}$ ) de 43,16 cm, coeficiente de crecimiento (k) en  $0,27 \text{ año}^{-1}$  y un  $t_0$  de  $-0,058$ . Los valores estimados indican un pez relativamente grande y de crecimiento moderado.



### Madurez Sexual y la evolución del IGS:

La proporción sexual fue ligeramente favorable a las hembras ( $\sigma\sigma:\text{♀♀} = 1,0:1,3$ ;  $X^2 = 45$ ,  $P \leq 0,05$ ). De la evolución mensual del desarrollo gonadal de pejerreyes hembras según predominancia porcentual por estadios se estableció dos periodos 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

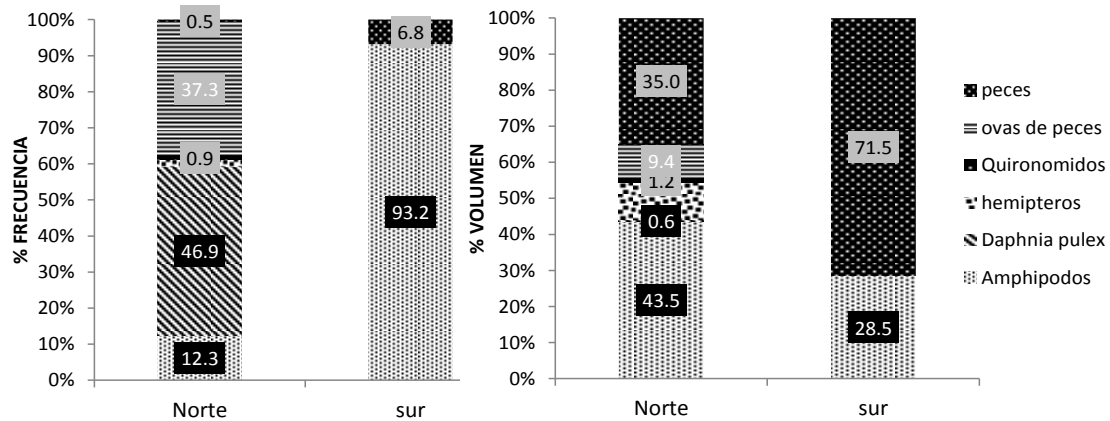
octubre). El otro período se inició desde junio hasta febrero. Estos resultados de la evolución gonadal, concuerdan con la evolución del IGS. El IGS más alto se determinó en julio (7,3%) y el más bajo en marzo (0,5%). Se identificó dos picos de desove, primero el más intenso, desde julio a setiembre; y el segundo, entre diciembre y febrero.

**Talla de primera madurez gonadal:** Para una 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 individuos 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  $P = 0,004L^{3,130}$ .

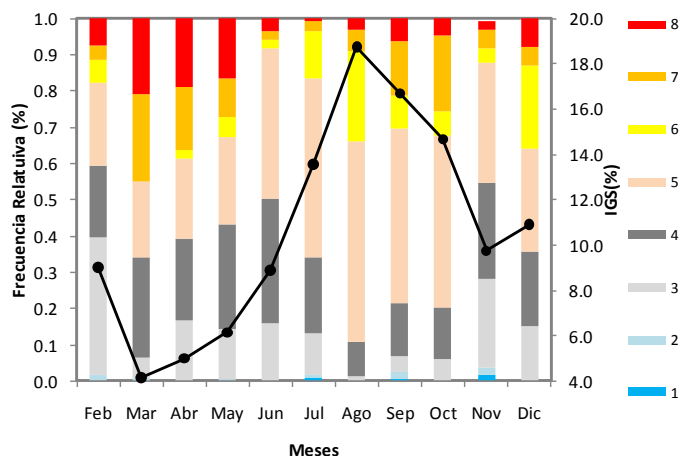
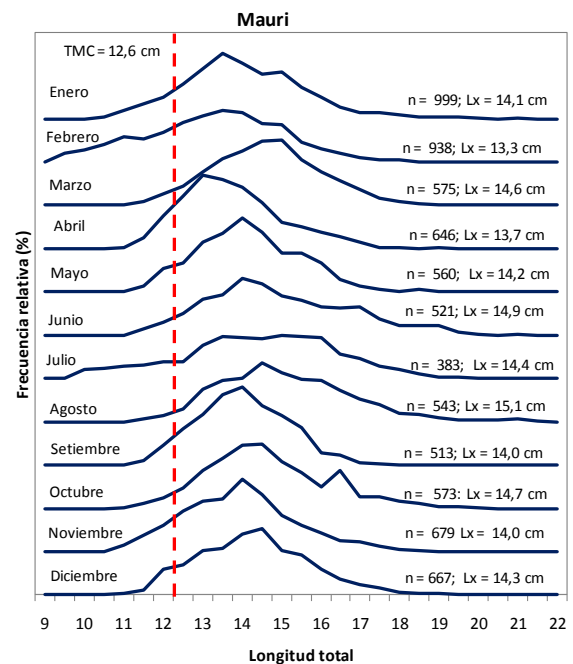
Alimentación: De la evaluación de varios estómagos ( $n = 41$ ) de pejerrey colectados entre julio, agosto y octubre de las Zonas Norte y Sur del lago se determinó lo siguiente ítems alimenticio: en la Zona Norte predominó en número la pulga de agua, seguido de ovas de peces; mientras en volumen predominó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



### Mauri (*Trichomycterus dispar*)

Composición por tamaños: Se midieron 7 597 ejemplares, determinándose un rango de tallas de 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 ( $L_{\infty}$ ) fue de 22,63 cm, una tasa de crecimiento de  $k = 0,49 \text{ año}^{-1}$  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

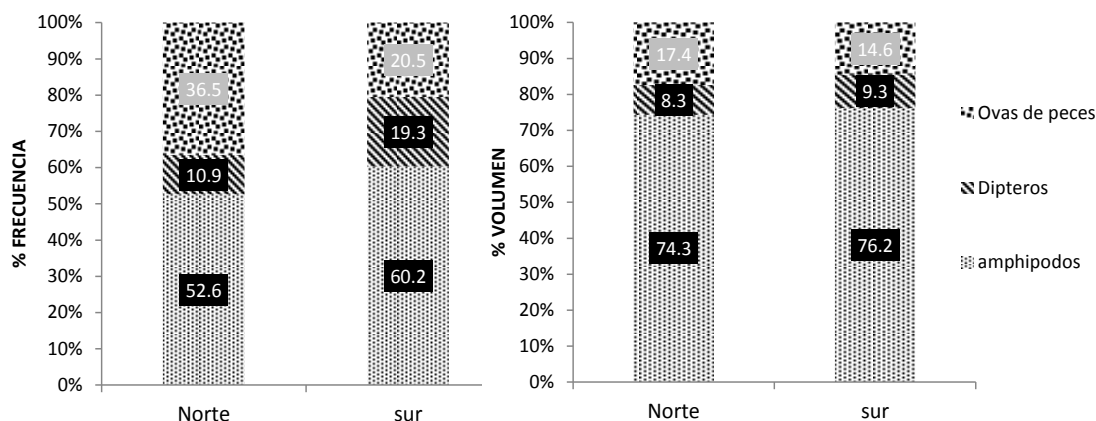
abril) seguido por los madurantes (de mayo a junio), luego los desovantes (entre agosto y setiembre) y los de recuperación (de setiembre a noviembre). El otro período, se comenzó en julio y finalizó en marzo. Estos resultados sobre el periodo reproductivo, concuerdan con la evolución del IGS. El valor 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 maduros (33%) y ovas maduras (16%). El diámetro de las ovas maduras fue de 1,8 mm.

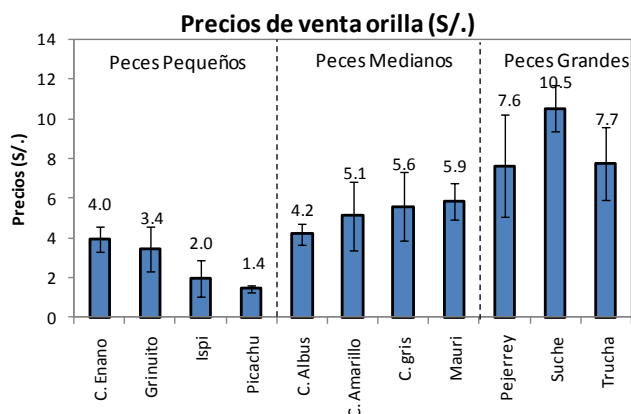
*Relación Longitud – Peso (RLP):* Ecuación de relación longitud – peso para Machos:  $P = 0,0145L^{2,8380}$  y Hembras:  $P = 0,0205L^{2,7265}$ .

*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 anfibios, 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, los peces medianos fluctuaron de S/. 5,9 (mauri) hasta S/. 4,2 (carachi albus). 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.

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
	<b>Sub total</b>	<b>64938.42</b>	<b>70536.77</b>	<b>91075.11</b>	<b>79107.31</b>	<b>93088.23</b>	<b>52160.83</b>
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
	<b>Sub total</b>	<b>36343.20</b>	<b>32071.49</b>	<b>28080.88</b>	<b>26775.67</b>	<b>23380.42</b>	<b>22517.14</b>
<b>TOTAL</b>	<b>101281.61</b>	<b>102608.26</b>	<b>119105.98</b>	<b>105882.98</b>	<b>116468.65</b>	<b>74677.96</b>	

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
	<b>Sub total</b>	<b>34679.29</b>	<b>53559.32</b>	<b>145544.00</b>	<b>121903.36</b>	<b>129418.25</b>	<b>180721.95</b>	<b>1116732.84</b>	<b>78.35</b>
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
	<b>Sub total</b>	<b>23760.37</b>	<b>25111.89</b>	<b>24826.40</b>	<b>23396.78</b>	<b>23547.25</b>	<b>18783.44</b>	<b>308544.91</b>	<b>21.65</b>
<b>TOTAL</b>	<b>58439.67</b>	<b>78671.20</b>	<b>170370.40</b>	<b>145300.14</b>	<b>152965.50</b>	<b>199505.38</b>	<b>1425277.74</b>	<b>100.00</b>	

## LOGROS

- Durante el 2010, se colectó y proceso diariamente datos de desembarques e información biológica pesquera de la actividad extractiva del Lago Titicaca, con lo cual se elaboró reportes quincenales y mensuales, que fueron enviados a la Dirección Científica. Esto permitió que el Vice – Ministerio de Pesquería elabore y publique dispositivos legales para manejo de la pesquería en la cuenca del Lago Titicaca.

## **RESULTADO: PESCAS EXPLORATORIAS CON FINES DE EVALUACIÓN DE ESPECIES NATIVAS EN ZONAS LITORALES DEL LAGO TITICACA**

El área de trabajo para las pruebas experimentales de operatividad de la red de pesca, se localizó frente a Ojherani (Chucuító), desde profundidades de 15 m hacia la zona de orilla. La concepción del plan de trabajo para esta red fue el de operar en zonas litorales, con el objetivo que cada lance u operación de pesca se pueda considerar como un punto de muestreo, en base al área de encierre y obtener una densidad de individuos, por estratos de profundidad y pueda extrapolarse a una determinada área. Finalmente obtener un índice cualitativo y cuantitativo de la población que puede albergar esta zona, tanto en diversidad de peces como características biológicas (talla, peso, etc.).

Las características técnicas de la **red de cerco** presentó una longitud de 100 m y porcentaje de “embande” entre 40 y 36%, el alto es de 6,5 m. El paño tiene un tamaño de malla de  $\frac{1}{2}$ ”, con hilo 210/6; es decir, más liviano, para facilitar el cobrado. Una característica principal de esta red es “antifango”, lo cual permite trabajar en zona somera y fondo barroso. Aunque en la zona litoral del lago hay vegetación acuática sumergida. En el diseño y construcción se consideró cenefas, tanto para las relingas superior e inferior, pero en la práctica no es necesario o debe ser bien angosta, con el fin de evitar el escape de los peces de menor tamaño (juveniles). En la borda del BIC IMARPE VIII (lado de babor), se colocó un par de pescantes; uno comúnmente llamado “burro” para el encierre o cobrado de la relinga inferior (jareta) y el otro como guiador de los cabos que vienen del ‘burro”. El cobrado de la red se realizó en forma manual. La flotabilidad de la red y la caída de plomo esta en forma proporcional, lo cual permite una verticalidad de la red. Para el armado y construcción de la red se contó con los servicios de la empresa *Masterfishing*. De la misma forma para las pruebas experimentales.



Se hicieron un total de 10 lances, en el área frente a Ojherani (Chucuító). Los cardúmenes se encontraron por debajo de 5 metros de profundidad. Por la dimensión vertical de la red no fue posible alcanzar una profundidad mayor a 6,5m. Sin embargo, se logró obtener operaciones de pesca positivas. A continuación se describe la operación de pesca. El rango de tallas de juveniles de pejerrey, estuvo entre 4,0 y 9,0 cm, con talla promedio de 5,97 cm, lo cual corrobora que la especie pejerrey, en estado juvenil, tienen preferencia por la zonas cercanas a la orilla. La predominancia de tallas estuvo entre 6,0 – 6,5 cm. Sólo se capturó un ispi de 6,0 cm.

### **LOGROS**

- Se ha logrado disponer de una red de cerco que permitirá realizar operaciones de pesca en la zona litoral del lago con fines de estimación de biomasa. Así mismo, este arte de pesca tiene la

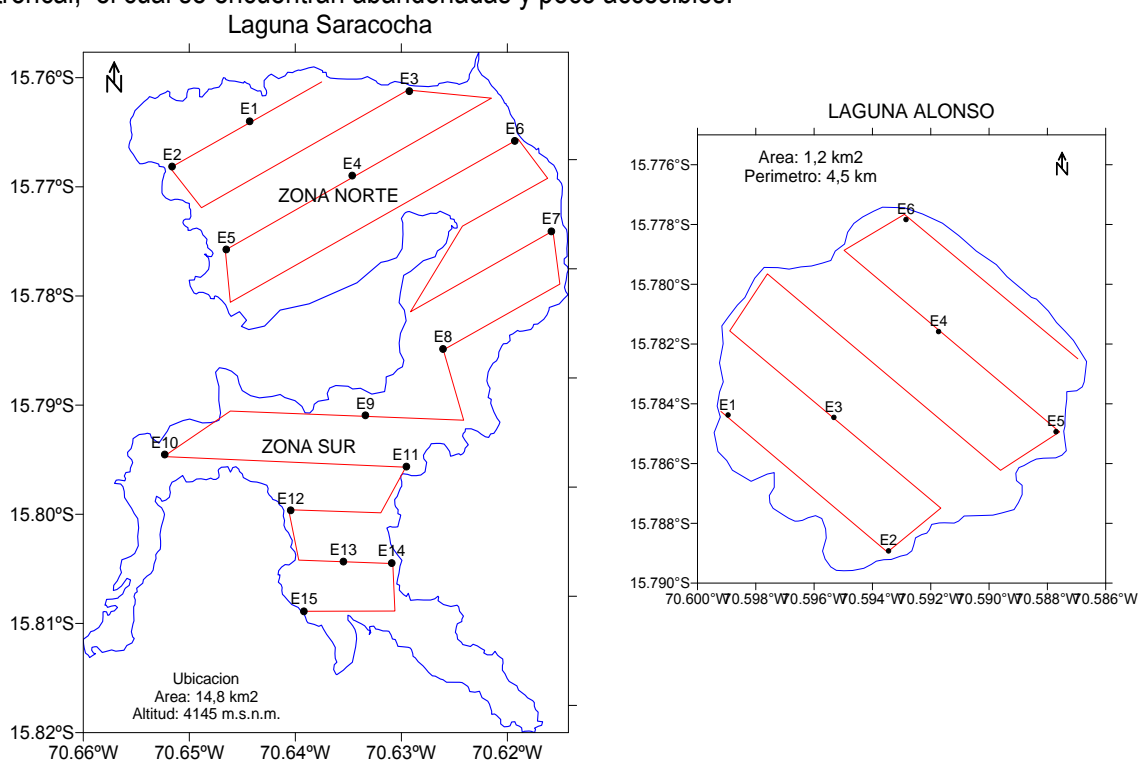
ventaja de evitar el escape de peces juveniles, lográndose una mayor eficiencia en cuanto a resultados de la capturas y por ende en las evaluaciones.

## RESULTADOS: MONITOREO BIO-ECOLÓGICO Y LIMNOLÓGICO EN LAS LAGUNAS DE SARACOCHA Y ALONSO (CONVENIO IMARPE – PELT).

Esta actividad se realizó entre 09 y 12 de noviembre del 2010, con la participación de profesionales del Laboratorio Continental de Puno – IMARPE y del Proyecto Especial Lago Titicaca – PELT.

La Laguna Saracocha, se encuentra ubicada al oeste del Lago Titicaca ( $15^{\circ}46,25'S$ ;  $70^{\circ}38,97'W$ ), con una superficie de  $14,8 \text{ km}^2$ , a una altitud de 4 145 metros sobre el nivel mar y una profundidad máxima de 72 m. Pertenece a la jurisdicción del distrito de Santa Lucia y la provincia de Lampa, a 200 km de la ciudad de Puno. El acceso es a través del sistema vial de la carretera asfaltada Juliaca – Arequipa y con desvío de enlace troncal poco accesible del centro poblado de Santa Lucia por la antigua carretera vial (trocha carrosable). En la zona Sur a orillas de la laguna se encuentra el Centro de Banco de Germoplasma de Alpacas y Llamas de Quimsachata del Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA.

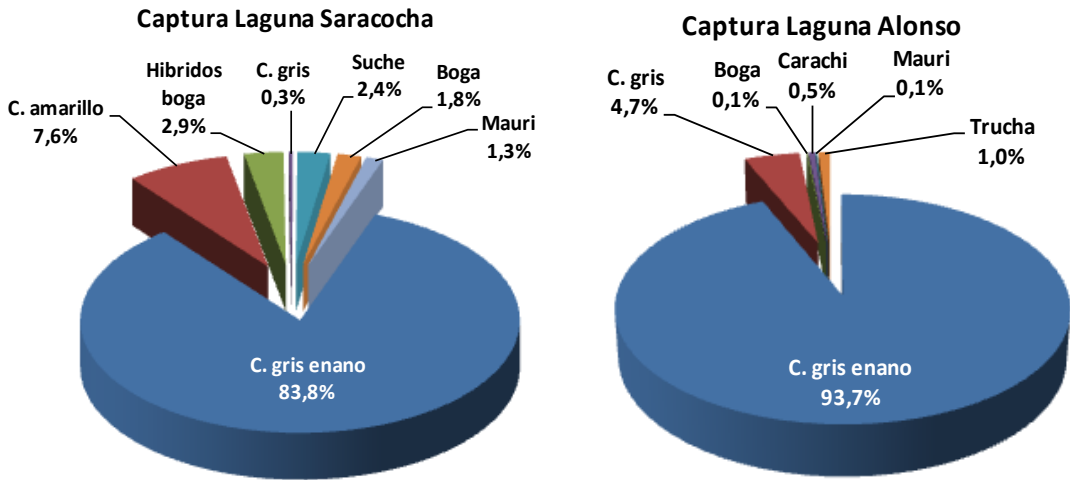
La Laguna Alonso, se encuentra al este de la Laguna Saracocha ( $15^{\circ}46,97'S$ ;  $70^{\circ}35,61'W$ ), con una superficie de  $1,2 \text{ km}^2$ , una altitud de 4 270 m.s.n.m. y una profundidad máxima de 15 m. Se encuentra en la jurisdicción del distrito de Cabanillas de la provincia de San Román. El acceso a la laguna es por un sistema vial de trocha carrosable por la antigua carretera vial y con enlace troncal; el cual se encuentran abandonadas y poco accesibles.



### Aspectos biológico - pesquero

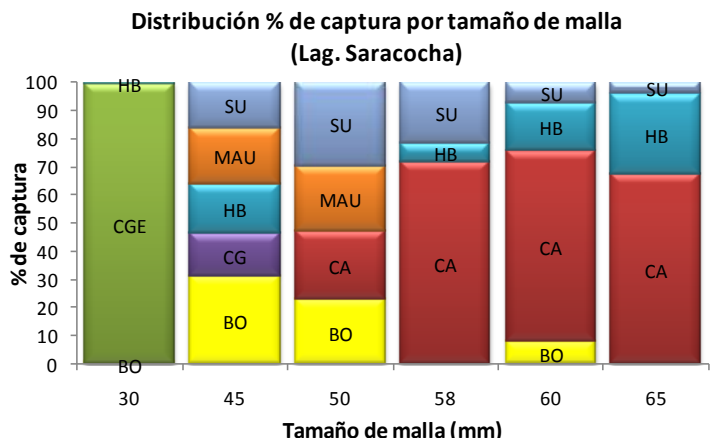
**Composición de la captura:** La composición de la captura obtenida con redes cortina tipo “sueca” y comercial para las lagunas Saracocha y Alonso, estuvo constituido por seis y cinco especies ícticas, respectivamente. De un total de 72,3 kg en la laguna Saracocha predominó el carachi gris enano (*Orestias agassii owenii*) con 60,6 kg (83,8%), seguido de carachi amarillo (*Orestias luteus*)

con 5,5 kg (7,6%), híbridos de boga con 2,9%, boga (*Orestias pentlandii*) con 1,27 kg (1,8%), suche (*Trichomycterus rivulatus*) con 2,4%, mauri (*Trichomycterus dispar*) con 1,3% y carachi gris (*Orestias agassii*) con 0,3%.



Mientras, en la laguna Alonso de un total de 83,3 kg predominó el carachi gris enano con 93,7%, seguido de carachi gris con 4,7%, trucha con 1%, carachi amarillo 0,5%, mauri y boga con 0,1% cada uno.

**Composición de la captura por tamaño de malla:** Los resultados de las operaciones de pesca con redes comerciales (30, 45, 50, 58, 60 y 65 mm LM), se estimó lo siguiente: la especie más abundante fue el carachi gris enano en la malla 30 mm (60 kg), seguido del carachi amarillo en las mallas de 50 y 65 mm. El mauri tuvo mejores capturas en las mallas 45 y 50 mm. El carachi gris en malla de 45 mm.



BO = Boga; CA = Carachi amarillo; CGE = Carachi gris enano; CG = Carachi gris; HB = Híbrido de boga; MAU = mauri y SU = Suche

Las especies, producto de los repoblamiento realizados por el PELT, principalmente la boga se capturó en las mallas 30, 45, 50 y 60 mm. El suche entre las mallas 45 y 65 mm. Una hibridación de la boga se capturó en las mallas 45, 58, 60 y 65 mm.

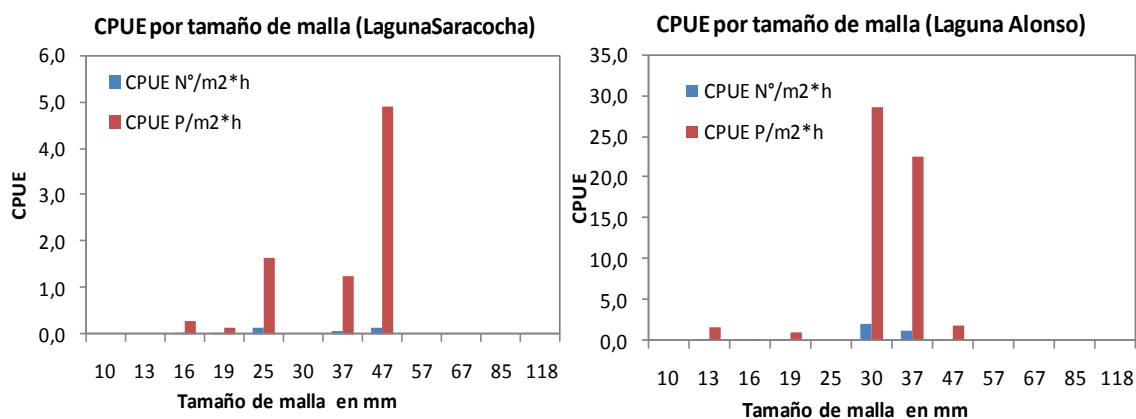


Boga adulto (*Orestias pentlandii*) de 21 cm

Híbrido de boga de 17 cm.

**Captura por unidad de esfuerzo (CPUE) para las redes experimentales tipo "sueca":** El rendimiento de las redes experimentales se calculó sobre la base de 12 "paños" de diferentes tamaños de malla, en un área de 42,52 m<sup>2</sup> y un tiempo de permanencia de la red de 15 horas. El CPUE, en número de peces o individuos, según tamaños de malla y para cada una de las lagunas fue el siguiente: la laguna Saracocha tuvo un valor de 0,15 indiv./m<sup>2</sup>.h en la malla 25 mm y de 0,15 indiv./m<sup>2</sup>.h en la

mallas 47 mm. El CPUE en peso, tuvo un máximo valor de 4,9 g/ m<sup>2</sup>.h en la malla 47 mm, seguido de 1,6 g/ m<sup>2</sup>.h en la malla 25 mm. Para la Laguna Alonso, el CPUE en número, le correspondió un valor máximo a 2,0 indiv./m<sup>2</sup>.h (malla 30 mm), seguido de 1,3 indiv./m<sup>2</sup>.h en la malla de 37mm. El CPUE en biomasa tuvo un valor máximo de 28,6 g/ m<sup>2</sup>.h (malla 30), seguido de 22,4 g/ m<sup>2</sup>.h en la malla 37 mm. De los valores de CPUE obtenidos, según tamaño de malla, se determina que las redes de 25, 30, 37 y 47 mm de LM, son las adecuadas para la pesca de las especies ícticas, presentes en las lagunas Saracocha y Alonso.

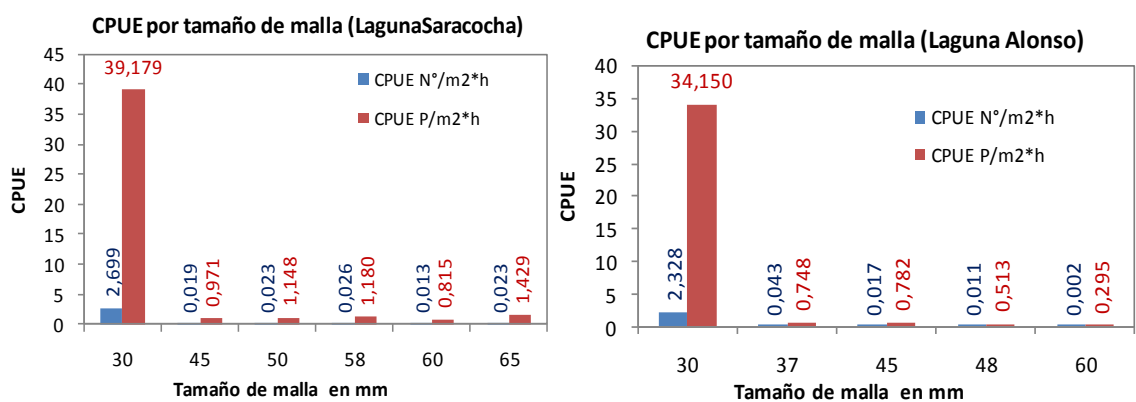


### Captura por unidad de esfuerzo para las redes comerciales

El rendimiento de las redes comerciales experimentales, se calculó sobre la base de 6 “paños” de diferentes tamaños de malla, en un área de 774,5 m<sup>2</sup> y un periodo de 22,25 horas de permanencia de la red en agua. Los resultados de CPUE, en número de peces, para diferentes tamaños de malla, fueron los siguientes: Para la laguna Saracocha, el valor máximo fue de 2,7 indiv./m<sup>2</sup>.h (malla 30 mm), seguido de 0,026 indiv./m<sup>2</sup>.h en la malla de 58 mm. Mientras el CPUE en peso, el máximo valor obtenido fue de 39,2 g/ m<sup>2</sup>.h en la malla de 30 mm, seguido de 1,4 g/ m<sup>2</sup>.h en la malla de 65 mm.

Para la Laguna Alonso, le correspondió un CPUE de 2,3 indiv./m<sup>2</sup>.h (malla 30 mm), seguido de 0,043 indiv./m<sup>2</sup>.h en la malla de 37 mm. El CPUE en peso tuvo un valor máximo de 34,15 g/ m<sup>2</sup>.h que le correspondió a la malla de 30 mm, seguido de 0,8 g/ m<sup>2</sup>.h para la malla de 45 mm.

Los valores de CPUE según tamaño de malla, indican que las redes de 30, 45, 58 y 65 mm de LM son las óptimas para la pesca de los especies ícticas presentes en las Lagunas Saracocha y Alonso.

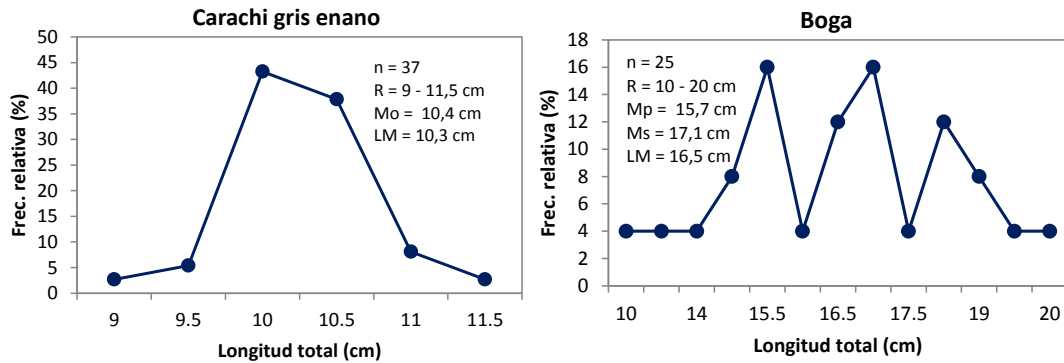


### Aspectos biométricos



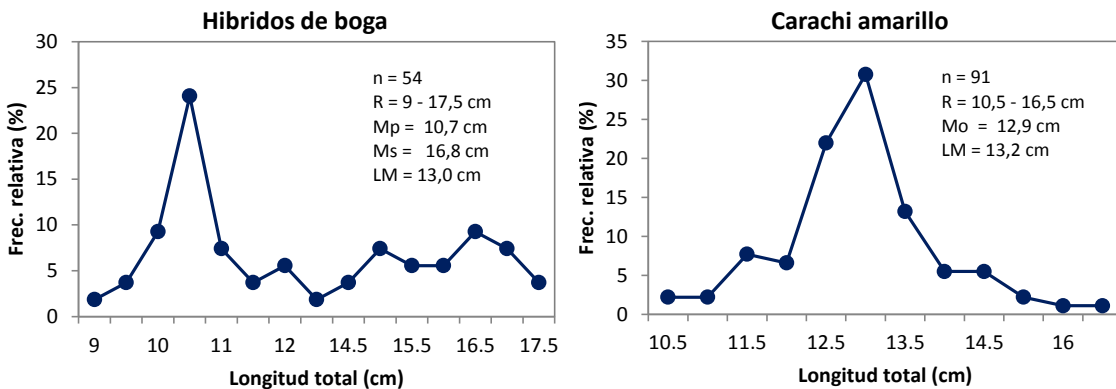
*Carachi gris enano (Orestias agassii owenii)*: Se midieron 37 ejemplares de ambos sexo. La estructura por tamaños presentó una amplitud de tallas de 9 a 11,5 cm, con una moda en 10,4 cm. La longitud media fue de 10,3 cm.

*Boga (Orestias pentlandii)*: Se midieron 25 ejemplares de ambos sexo. La estructura por tamaños oscilo entre 10 y 20 cm, con una distribución multimodal, con una principal en 15,7 cm y una moda secundaria en 17,1 cm. La longitud promedio fue de 16,5 cm.



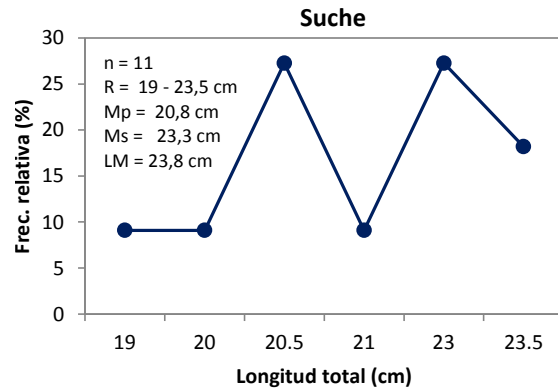
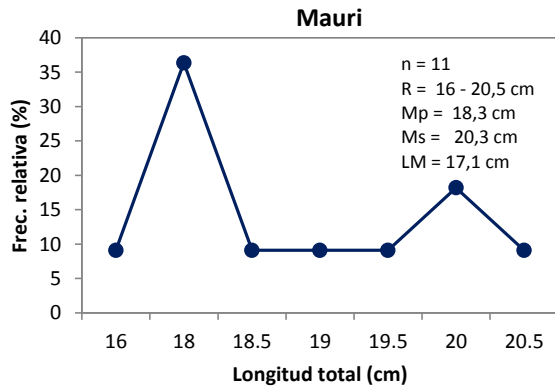
*Híbridos de boga*: Se clasificaron como *híbridos de boga*, porque se asemejan a los ejemplares de boga. Las mediciones merísticas de la altura del pedúnculo caudal en relación a la longitud estándar se encuentra por debajo de 11,5% (LAUZANNE, 1982). Solo difieren de los verdaderos por el color amarillo pálido en el dorso y plateado en el vientre. Se midieron 54 ejemplares de ambos sexo. La estructura por tamaños presentó una amplitud de tallas de 9 a 17,5 cm, con una distribución multimodal; una moda principal en 10,7 cm y una secundaria en 16,8 cm. La longitud media se determinó en 13 cm.

*Carachi amarillo (Orestias luteus)*: Se midieron 91 ejemplares de ambos sexo. La estructura por tamaños presentó una amplitud de tallas de 10,5 a 16,5 cm, con moda en 12,9 cm y longitud promedio de 13,2 cm.



*Mauri (Trichomycterus dispar)*: Se midieron 11 ejemplares de ambos sexo. La estructura por tamaños oscilo entre 16 y 23,5 cm, con distribución multimodal. Las modas principal y secundaria estuvieron en 18,3 y 20,3 cm, respectivamente. La longitud media se determinó en 17,1 cm.

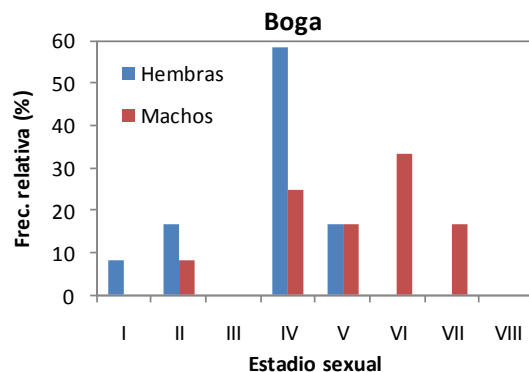
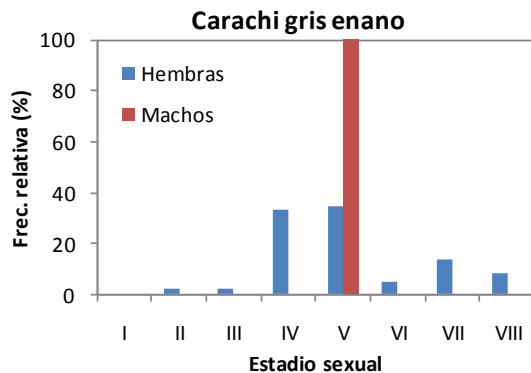
*Suche (Trichomycterus rivulatus)*: Se midieron 11 ejemplares de ambos sexo. La estructura por tamaños presentó una amplitud de 19 a 23,5 cm, con distribución multimodal. La moda principal se estimó en 20,8 cm y la secundaria en 23,3 cm. La longitud promedio fue de 23,8 cm.



### Madurez sexual

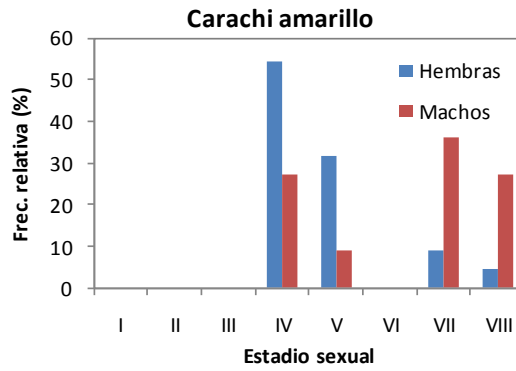
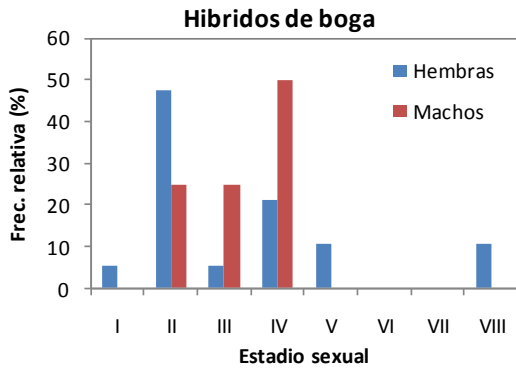
*Carachi gris enano*: La progresión de la madurez sexual para hembras de carachi gris enano, mostró que el 34,6% se encontró en estadio maduro (E-V), seguido del 33,3% de estadio madurante (E-IV) y 13,6% en estadio de desove (E-VII). En general, el recurso íctico, se encontraba en proceso de maduración gonadal avanzado. El IGS fue de 9,92%. La proporción sexual fue 1:44 siendo ampliamente favorable a las hembras.

*Boga*: La evolución de la madurez sexual para hembras de "boga" fue de 58,3% en estadio madurante (E-IV), seguido del 16,7% en estadio grávido y 8,3% en estadio de virginales (E-I). En general, la boga se encontró en madurez sexual avanzada y con presencia de juveniles. El IGS se calculó en 7,8% y la proporción sexual fue 1:1,0.



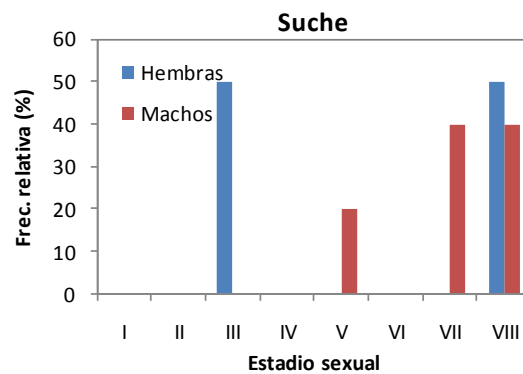
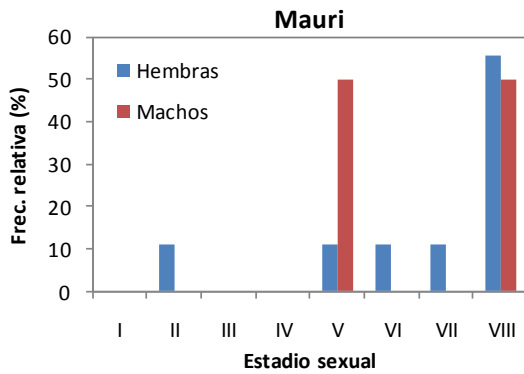
*Híbridos de boga*: La progresión de la madurez sexual para las *híbridas de boga* hembras, estuvo en 47,4% como estadio inmaduro (E-II), el 21,1% estadio de madurantes y 10,5% en fase de reposo (E-VIII). En general, esta especie se encontró en proceso de madurez sexual inicial. El IGS fue de 7,77% y la proporción sexual fue 1:4,8 siendo muy favorable a las hembras.

*Carachi amarillo*: La evolución de la madurez sexual para las hembras de carachi amarillo, se determinó que el 54,5% en estadio de madurante (E-IV), seguido del 31,8% de estadio de maduro y 9,1% en estadio de desove (E-VII). Esta especie presentó una predominancia en proceso de madurez sexual avanzada. El IGS fue de 10,69% y una proporción sexual de 1:4,0 siendo muy favorable a las hembras.



**Mauri:** La progresión de la madurez sexual para las hembras de mauri, se determinó que el 55,6% se estableció en estadio de reposo o terminado (E-VIII), seguido del 11,1% en estadio de virginales, maduro, desovado y desovados cada uno. En general, hubo una mayor proporción de peces en proceso de reposo y otro grupo, en desove. El IGS se calculó en 3,67% y una proporción sexual de 1:4,5 siendo muy favorable a las hembras.

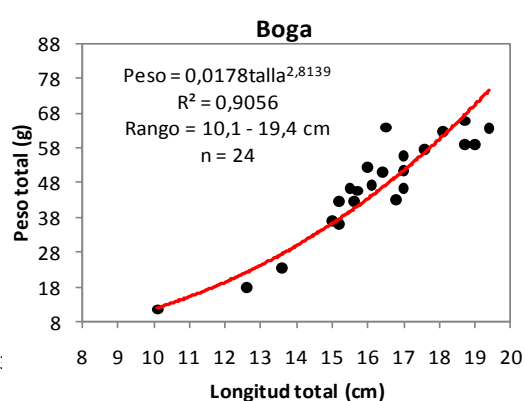
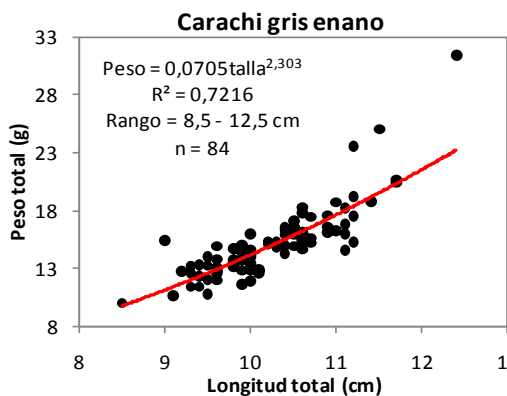
**Suche:** De 7 ejemplares capturados, 2 fueron hembras. Una de ellas en reinicio del ciclo de madurez. El IGS se calculó en 1,82% y la proporción sexual se calculó en 1:2,5 a favor de los machos.



Relación Longitud – Peso (RLP)

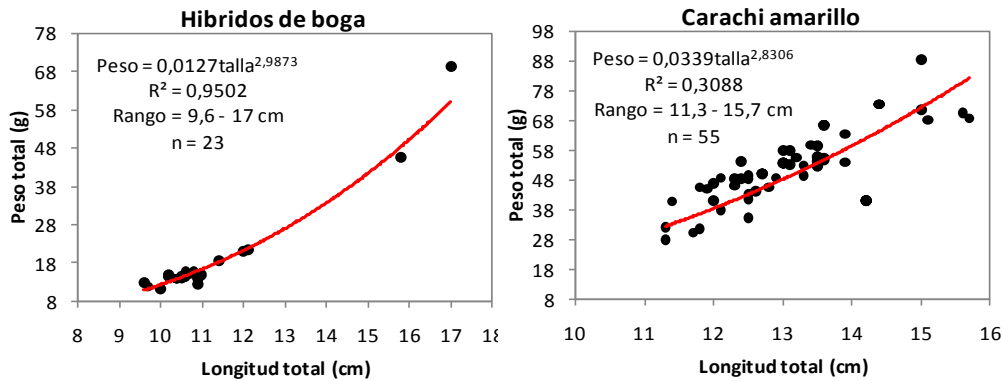
**Carachi gris enano:** Los ejemplares pequeños de ambos sexo se encontraron en mejores condiciones de peso con respecto a los adultos, con coeficiente de determinación del 72%.

**Boga:** La tasa de crecimiento por sexo, muestra que los ejemplares jóvenes se encontraron en mejor condición somática con respecto a los especímenes adultos, con un  $r^2$  de 90%.



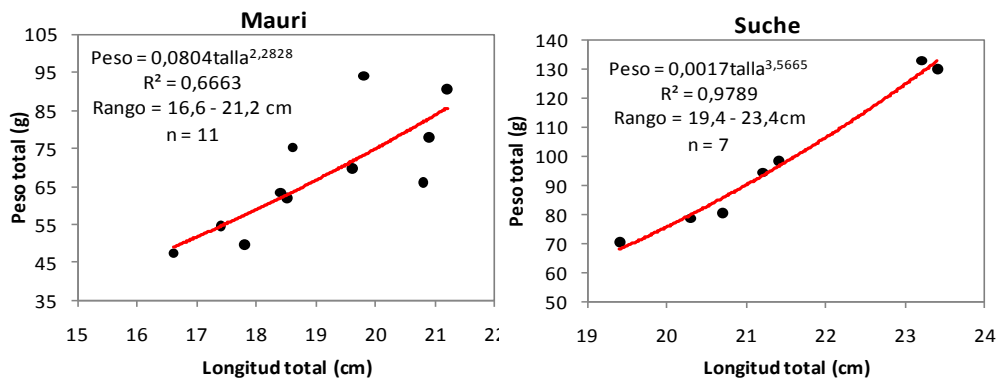
**Híbridos de boga:** Los resultados de RLP muestran un valor de la pendiente menor a 3, lo cual indica que los ejemplares pequeños se encontraron en mejores condiciones que los grandes ( $r^2 = 95\%$ ).

**Carachi amarillo:** Los ejemplares pequeños se encontraron en una buena condición de peso con respecto a los adultos. Con coeficiente de determinación del 30%.



**Mauri:** Con los resultados de RLP obtenidos para ambos sexo, muestras que los ejemplares pequeños se encontraron en mejores condiciones que los grandes, con coeficiente de determinación del 67%.

**Suche:** De los ejemplares de ambos sexo, los ejemplares grandes se encontraron en mejores condiciones de peso con respecto a los juveniles, con  $r^2$  del 97%.



### Talla de primera madurez sexual

Con los datos agrupados para especímenes inmaduros y maduros de las especies ícticas capturadas en ambas lagunas, se calculó la talla de madurez o talla a la primera madurez sexual, según el método del criterio del 50% de hembras maduras ( $L_{50\%}$ ). Los resultados obtenidos muestran semejanza con lo determinado para el Lago Titicaca y la laguna de Umayo.

### Alimentación

Los estudios de contenido estomacal de los peces capturados en las lagunas de Saracocha y Alonso, revelaron que los ítems alimenticios más frecuentes fueron:

- *Carachi amarillo* (10 – 14 LT), según orden de importancia, Litoridinas, Chironómidos (pupas y larvas), anfípodos y restos de zooplancton (Daphnia y Copépodos).
- *Carachi gris enano* (10 – 14 LT), hubo predominancia de huevos de peces, seguido de pupas de Chironómidos (pupas y larvas), Litoridinas (larvas) y restos de zooplancton (Daphnia y Copépodos).

Tabla 4. Espectro trófico de las principales especies ícticas del Lago Titicaca.

Especie	Rankin de presa por importancia			
	1	2	3	4
<b>Carachi gris enano</b> ( <i>Orestias agassii</i> <i>owenii</i> )				
<b>Carachi Amarillo</b> ( <i>Orestias luteus</i> )				

  
Anfipodos

  
Huevos

  
Chironomidae

  
*Littoridina* sp.

  
Zooplankton

### Tamaño de malla calculado en base al perímetro máximo y la longitud del pez

Se utilizó el método de Burd (1963) citado por Gherzi (2004), que se basa en la determinación de la longitud media teórica, a la cual el pez es capturado, por una red cortina con un determinado tamaño de malla. Se consideró la mejor coeficiente de determinación ( $r^2$ ), a partir de las regresiones o ecuaciones obtenidas entre la longitud total con el perímetro mayor (PM).

Tabla 5. Tamaño de malla calculado en base al perímetro mayor y la longitud del pez (Método de BURN, 1963)

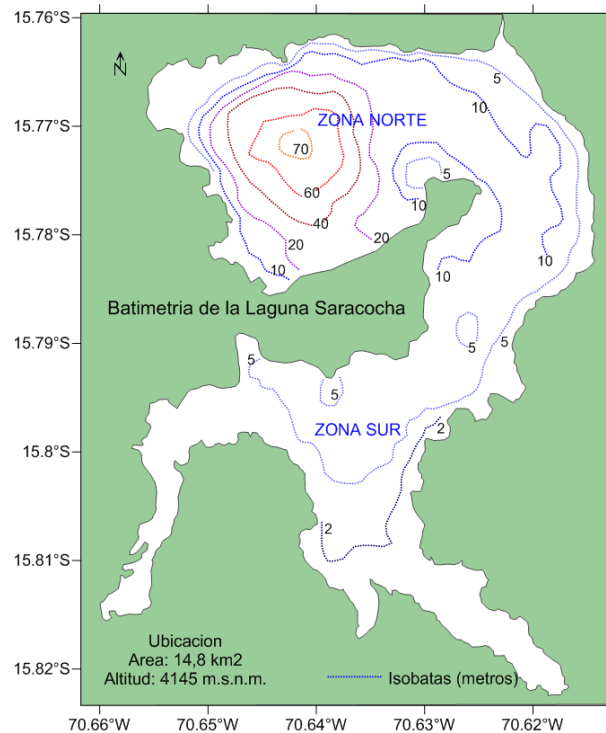
Especie	Nombre Científico	Perímetro máximo - Longitud total (Pm) cm		Talla Primera Madurez Sexual (TPMS) cm	Tamaño Malla Agallamieto (Tm <sub>A</sub> ) mm	Tamaño Malla Agallamieto (Tm <sub>A</sub> ) Pulg.
Carachi Amarillo	<i>Orestias luteus</i>	$Pm = 0,734(Lt)^{1,035}$	$r^2 = 0,40$	11,4	45,6	1 4/5
Hibrido de boga	-----	$Pm = 0,481(Lt)^{1,120}$	$r^2 = 0,89$	10,5	33,5	1 1/3
Boga	<i>Orestias pentlandii</i>	$Pm = 0,49(Lt)^{1,019}$	$r^2 = 0,79$	14,9	38,4	1 1/2
Carachi Gris Enano	<i>Orestias agassii owenii</i>	$Pm = 1,984(Lt)^{0,521}$	$r^2 = 0,46$	9,0	31,2	1 2/9
Mauri	<i>Trichomycterus dispar</i>	$Pm = 0,571(Lt) - 1,778$	$r^2 = 0,60$	12,6	27,0	1
Suche	<i>Trichomycterus rivulatus</i>	$Pm = 0,161(Lt)^{1,356}$	$r^2 = 0,72$	21,6	51,9	2

Los tamaños de malla (TM) determinados se asemejan a los determinados para las peces del Lago Titicaca y Umayo.

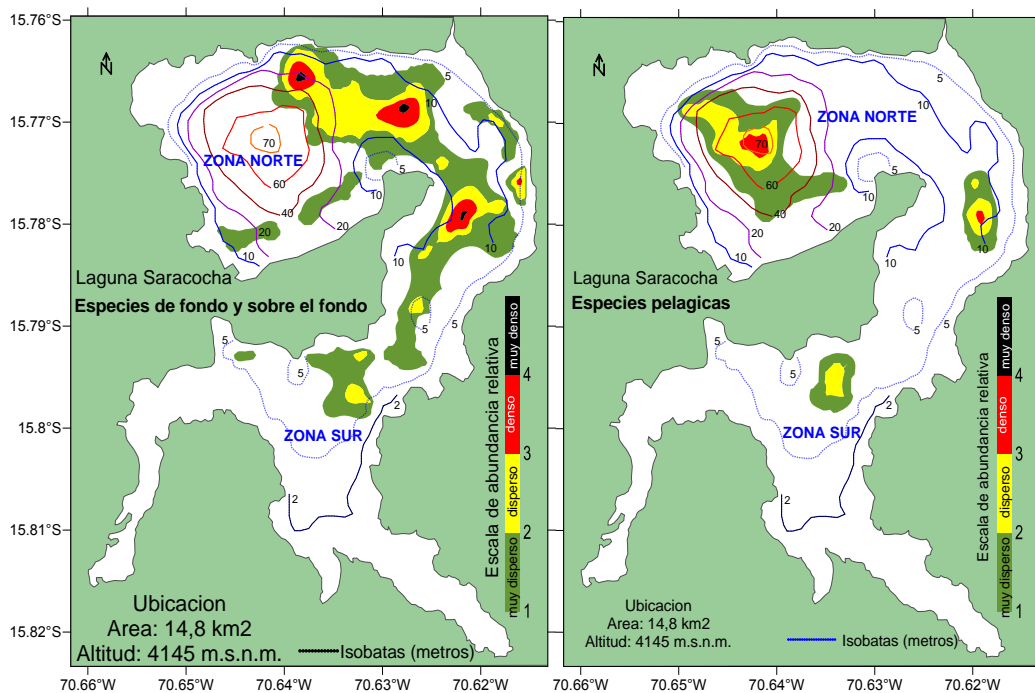
## Batimetría, distribución y concentración de los recursos pesqueros en la laguna Saracocha

**Batimetría:** Las mayores profundidades se registraron en la parte central de la zona norte de la laguna Saracocha, con profundidades de 70 m, mientras que al este de la laguna la pendiente aumenta lentamente (de 5 a 10 m). En la zona sur se observaron profundidades menores a 10 m con pendientes suaves y pocas profundas menores a 2 m. La profundidad máxima registrada fue de 72 m.

**Distribución y concentración de los recursos pesqueros:** La detección acústica de determinación de cardúmenes de peces, se realizó en toda la columna de agua. Se clasificaron en dos grupos: *especies de fondo*, que agrupa a todos los peces que estuvieron sobre los primeros 10 m a partir del fondo y *especies pelágicas*, desde la superficie hasta el rango de profundidad considerado para las *especies de fondo*.



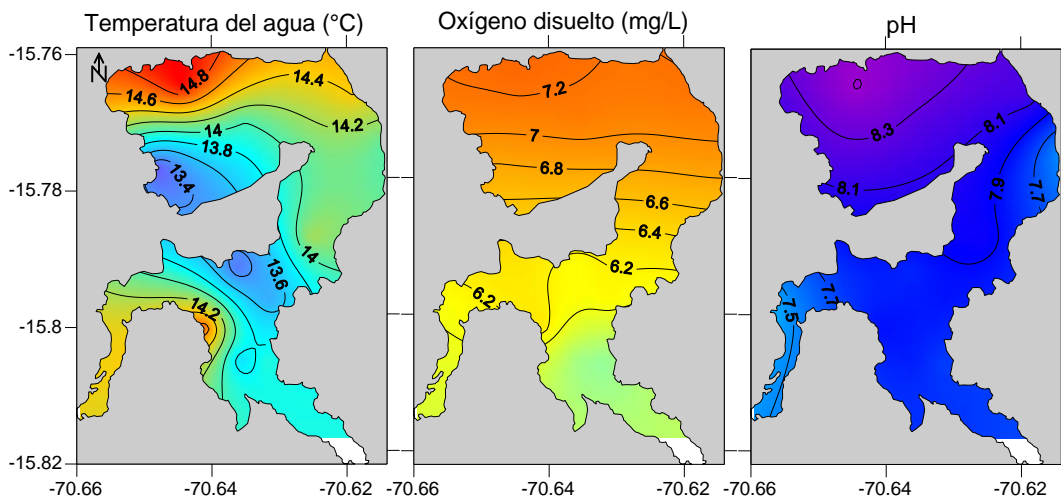
**Especies de fondo y sobre el fondo:** Las especies de fondo fueron detectadas en concentraciones continuas en el lado derecho de la zona norte y central de la laguna con predominio de carachi gris y carachi amarillo. Las mayores concentraciones "muy densas" de carachi gris y amarillo se presentaron en la zona norte, con tres núcleos "muy densos", asociados a profundidades con isobatas de 10 y 20 m, otras concentraciones "muy dispersas" se ubicaron en la zona norte, central y sur de la laguna que representan a las especies suche, mauri y algunos híbridos de boga.



*Especies pelágicas:* La distribución de las especies pelágicas como la boga fue muy “dispersa” y presentó concentraciones aisladas. La concentración de mayor extensión se presentó en la zona norte, con un núcleo “denso”, asociado al área de mayor profundidad (isobata de 70 m). Otras áreas más reducidas de distribución de boga y especies de carachi, estuvieron superficiales en la zona sur y se presentaron en categorías de tipo “dispersa a muy dispersa”.

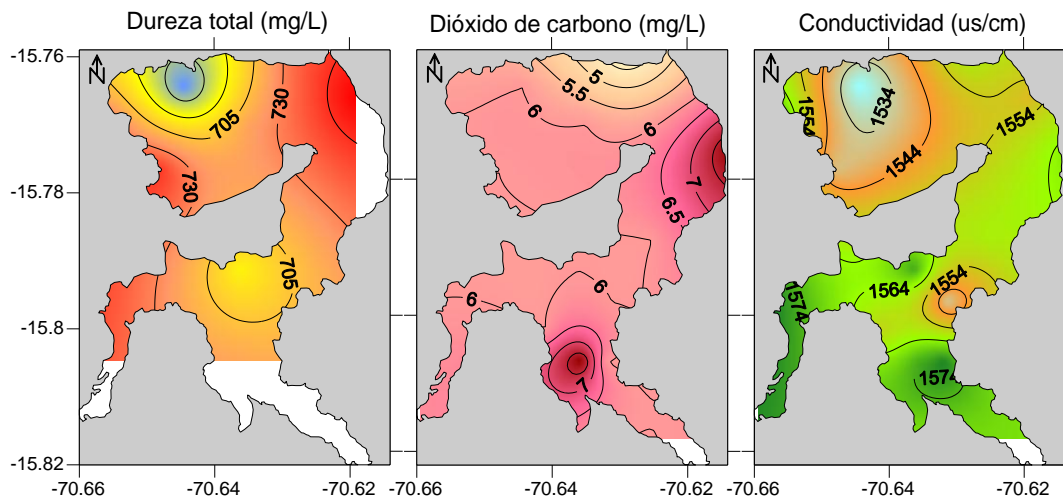
### Aspectos limnológicos

- *Temperatura:* En superficie los valores oscilaron entre 13,2 y 15 °C con un promedio de 14,1 °C. A la profundidad de 5 m, los valores variaron de 13,0 a 13,1 °C. A 10 m los valores variaron de 12,5 a 12,6 °C. En el rango entre 25 y 45 m, la temperatura estuvo entre 10,5 y 9,2 °C, respectivamente.
- *Oxígeno disuelto:* A nivel superficial los valores fluctuaron entre 5,2 y 7,2 mg/L con un promedio de 6,4 mg/L. Desde 5 a 10 m de profundidad se determinó entre 5,4 y 5,7mg/L, respectivamente. Mientras que desde los 25 a 45 m se determinó entre 2,2 y 0,5 mg/L, respectivamente.
- *pH:* Los valores superficiales oscilaron desde 7,3 a 8,5 con un promedio de 7,9. En el estrato de 5 a 10 m varió de 8,1 y 8,2; en tanto para 25 m a 45 m fluctuó entre 7,3 y 7,1, respectivamente. Dichos valores indican que son masas de agua ligeramente alcalinas, presentando mayor dispersión en el fondo.
- *Dureza total:* En esta laguna se presentaron altos los valores de dureza total, catalogándose estas aguas como muy duras. A nivel superficial osciló de 632 a 769 mg/L, a 10 m de profundidad fluctuó entre 752 y 769 mg/L y en el estrato de 25 a 45 m de profundidad, se registró entre 769 y 598 mg/L, respectivamente. Los altos valores de dureza pueden ser debido a la presencia de rocas de origen calcáreo, que son arrastrados a la laguna Saracocha en época de lluvias.



- *Dióxido de carbono:* El contenido de CO<sub>2</sub>, a nivel superficial, fluctuó de 4 a 8 mg/L con valores altos en la zona sur de la laguna. Se determinó valores altos a medida que aumenta la profundidad, a 45 m se registró hasta 12 mg/L. Los valores altos de CO<sub>2</sub> a los 45 m de la columna de agua sería proveniente de la acumulación de plancton muerto a nivel de la termoclina, el cual se produce en la estación de primavera (ILTIS, 1991).

- **Conductividad:** Los valores de conductividad a nivel superficial fluctuaron de 1524  $\mu\text{s}/\text{cm}$  a 1584  $\mu\text{s}/\text{cm}$  con un promedio de 1559  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , presentando valores altos hacia la zona sur de la laguna donde la profundidad osciló entre 5 y 10 m (zona somera). La conductividad fue similar en los diferentes estratos de profundidad.

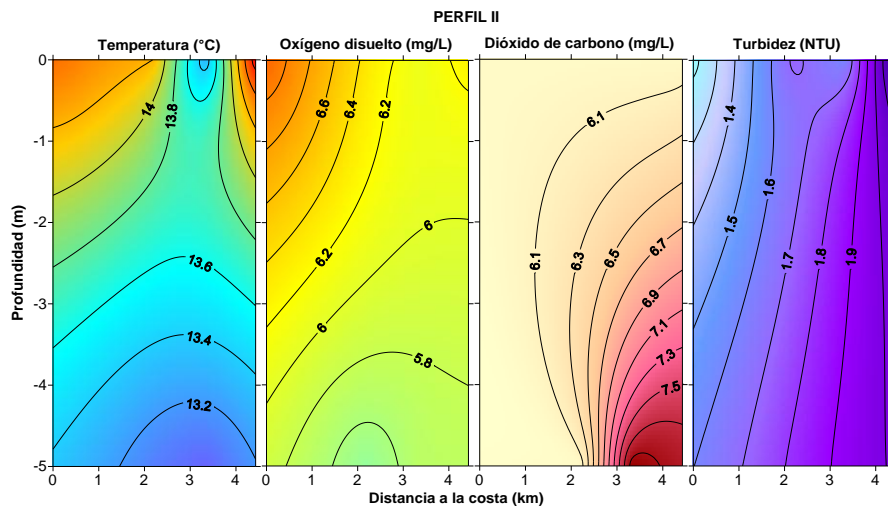
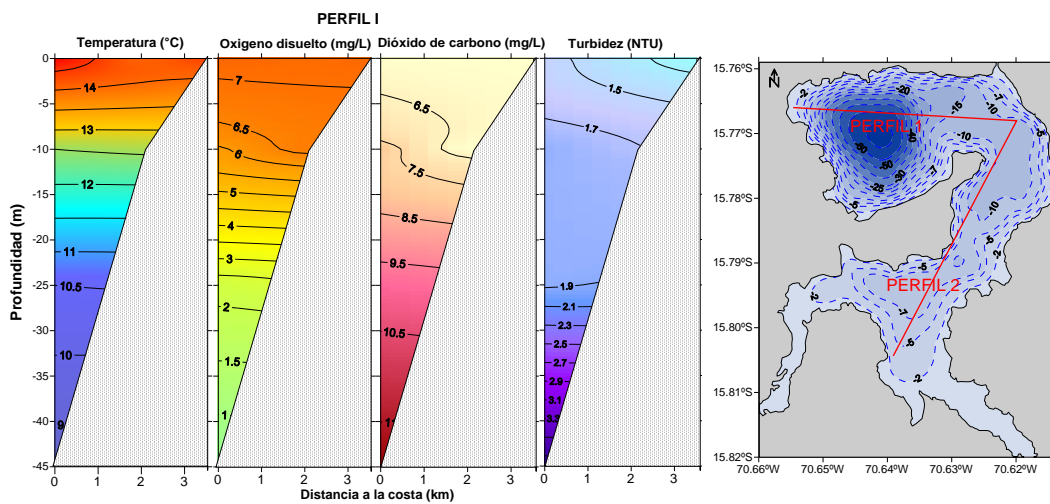
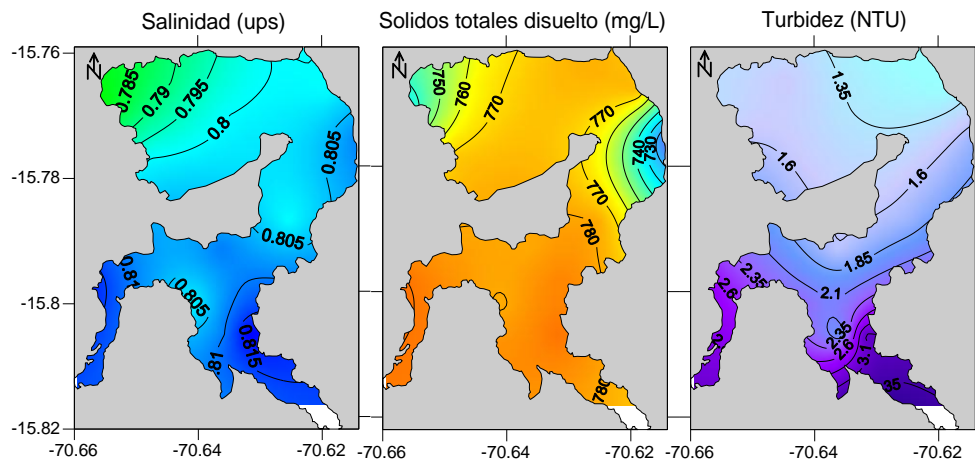


- **Salinidad:** A nivel superficial la salinidad varió desde 0,78 a 0,8 ups con un promedio de 0,8 ups, en la zona sur se dieron los valores más altos. A nivel vertical no presentó variación.
- **Sólidos totales disueltos:** Los contenidos de sólidos totales disueltos en superficie fluctuaron entre 703 y 793 mg/L con un promedio de 772 mg/L, determinándose los mayores valores en la zona sur de la laguna. En los diferentes niveles de profundidad no se determinó variación significativa.
- **Turbidez:** La turbidez presentó una variación de 1,2 a 3,5 NTU, a nivel superficial, con un promedio de 1,9 NTU. A 5 m de profundidad se determinó entre 1,82 a 1,93 NTU y a 10 m fluctuó de 1,72 a 1,86 NTU. Entre tanto en el estrato entre 25 y 45 m registró valores entre 1,87 y 3,81 NTU, respectivamente. En la zona sur de Laguna, los valores de turbidez fueron mayores con relación a la zona norte que es más profunda.
- **Transparencia:** La transparencia varió entre 2 y 4 m, presentando los valores más bajos en la zona sur de la laguna. Estos valores se correlacionan con los valores de turbidez.
- **Sólidos totales suspendidos:** A nivel superficial fluctuó de 3 a 27,7 mg/L y a 10 m de profundidad osciló entre 4,7 y 12,7 mg/L, siendo la zona sur la de mayores valores. En la zona norte, a 25 m de profundidad se registró un valor de SST de 17 mg/L, en tanto que a 45 m disminuyó a 3,3 mg/L.
- **Nutrientes:** Las concentraciones de nitritos registró un valor mínimo de 0,001 mg/L y un máximo de 0,006 mg/L; mientras el  $\text{NO}_3$  osciló de 0,1 a 0,8 mg/L. Se aprecia una fuerte nitrificación por reacciones de reducción de la actividad anaeróbica, lo que demuestra una gran actividad bacteriana por *Nitrosomonas* y *Nitrosococcus*, esto debido a oxidación de amonio. Respecto a los  $\text{PO}_4$ , se aprecia que los rangos de mínimos y máximos fueron de 0,04 a 0,24 mg/L. En cantidades mínimas de oxígeno disuelto se espera que el fósforo se encuentre retenido en el sedimento. Las relaciones que puedan existir entre  $\text{CaCO}_3$  y el Fe hace que los fosfatos precipiten y limite la transferencia de este elemento hacia la producción



primaria, debido que la dureza es alta. Sin embargo, la laguna de Saracocha no presenta problemas de limitación de  $\text{NO}_3$  y  $\text{PO}_4$  para a la producción primaria.

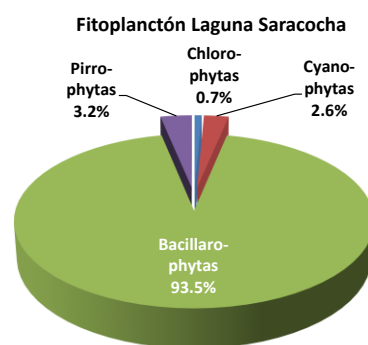
- *Clorofila*: La concentración de clorofila – a oscilo de 1,57 a 4,17  $\mu\text{g/L}$ , con un promedio de 3  $\mu\text{g/L}$ . A 5 m de profundidad se determinó en 2,52  $\mu\text{g/L}$ . En base a la clasificación trófica de límites fijos propuesta por la OCDE (1982) y de acuerdo con los datos de clorofila – a y transparencia (máx. 4 m) podemos señalar que la Laguna Saracocha se clasifica como oligotrófico con tendencia a la mesotrofia.



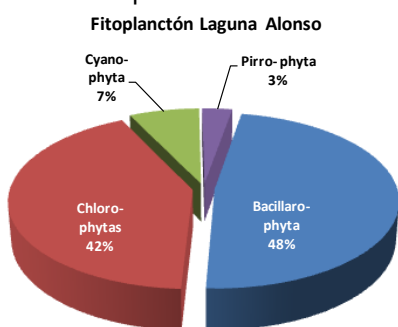
En la laguna Alonso solo se pudo monitorear cinco estaciones limnológicas. La temperatura a nivel superficial fluctuó de 13,8 a 17,5 °C con un promedio de 15,4 °C, alcanzando a mayor profundidad un valor de mínimo de 11,9 °C. El oxígeno disuelto osciló entre 6,8 y 10,3 mg/L, a nivel superficial. A los 15 m tuvo un mínimo de 0,6 mg/L, considerándose como una zona anóxica. Las aguas de la Laguna Alonso son alcalinas (pH>9). La turbidez y sólidos totales suspendidos son bastante altos con respecto a la Laguna Saracocha y se determinó en valor promedio de 3 NTU y 1116 mg/L, respectivamente. La conductividad en promedio fue 2237  $\mu\text{s}/\text{cm}$  y la salinidad de 1,3 ups valores muy superiores al de la laguna Saracocha. El SST fluctuó de 1,7 a 4,6 mg/L. La concentración de clorofila – a se determina entre 0,68 y 1,63  $\mu\text{m}/\text{L}$ . El nitrito se presentó entre 0,001 y 0,132 mg/L; mientras, el  $\text{NO}_3$  osciló de 0,4 a 0,9 mg/L. Al igual que en Saracocha se aprecia una fuerte nitrificación por reacciones de reducción por actividad anaeróbica. Los fosfatos  $\text{PO}_4$ , fluctuaron de 0,02 a 0,13 mg/L. De acuerdo, a las relaciones que existen entre el  $\text{NO}_3$  y el  $\text{PO}_4$ , en la laguna Alonso el elemento limitante es el fósforo que debe estar precipitado por la excesiva cantidad de  $\text{CO}_3$ .

### Aspectos biológicos

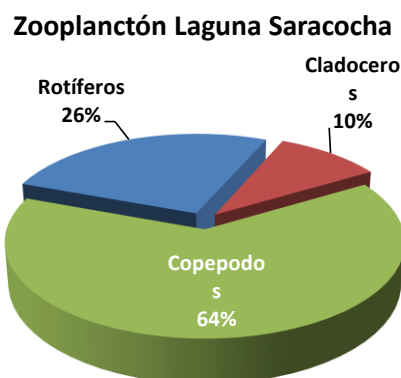
**Fitoplancton:** Para la Laguna Saracocha se registró un total de 17 géneros, agrupados en cuatro divisiones: Bacillariophyta (93,5%;  $2558,6 \times 10^3$  org/L), Pyrrophyta (3,2%;  $88,8 \times 10^3$  org/L), Cyanophyta (2,6%;  $69,9 \times 10^3$  org/L) y Chlorophyta (0,7%;  $19,9 \times 10^3$  Org/L). El índice de diversidad de Shannon (H) presentó valores de 0,146 y 0,884, es baja la diversidad que no llegó a 1; el análisis de dispersión fue del 5 a 47% (1-D); el índice de riqueza fluctuó entre 0,104 y 0,943; y la dominancia fue de 0,613 a 0,973. La variación entre las estaciones tienen valores de (kruskal Wallis)  $H = 1,615$  ( $p = 0,656$ ), la que está indicando que las estaciones son similares en su composición.



Para la Laguna Alonso se registró un total de 15 géneros, asociados en cuatro divisiones, en orden importancia destaca: Bacillariophyta (48%;  $46,6 \times 10^3$  org/L), Chlorophyta (42%;  $39,9 \times 10^3$  Org/L), Cyanophyta (7%;  $6,6 \times 10^3$  org/L) y Pyrrophyta (3%;  $3,3 \times 10^3$  org/L). Al ejecutar los análisis de diversidad de Shannon (H) se determinó valores de 0,636 a 0,981; asimismo, el análisis de dispersión Simpson (1-D) fluctuó entre 0,3812 y 0,5136; el índice de riqueza osciló de 0,6172 a 1,155; el índice de dominancia fue de 0,500 a 0,778. La variación entre especies al análisis no paramétrico Kruskal Wallis fue de  $H = 4,908$  ( $p = 0,1786$ ), con una nivel de confianza del 82%.

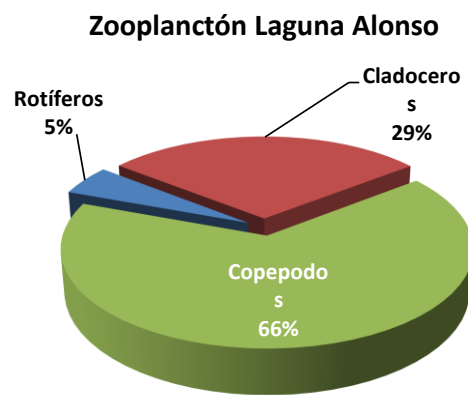


**Zooplancton:** En la laguna Saracocha, se determinaron 8 géneros, comprendidas en un total de 4 grupos: cladóceros (2), rotíferos (2), copépodos (3) y 1 especie de fauna acompañante: insectos (1). De los conteos realizados el grupo más importante fue los copépodos (64%; de 3 a 96 org/L) en sus diferentes estadios, siendo los más abundantes los *Metacyclops* y los estadios larvales nauplius; seguido de los rotíferos (26%; de 1 a 34 org/L) estuvieron representados por *Keratella* con dos especies. Dentro de los cladóceros (10%; 5 a 14 org/L) el más abundante fue la *Daphnia*. El análisis de la



comunidad zooplanctónica presenta que la riqueza de especies para cada una de las estaciones tuvo un rango de 0,276 (E4) a 0,866 (E14). Los valores de equidad ( $J'$ ) presentó valores inferiores en la estación 4 (0,825) y los superiores en la estación 13 (1,000). Los índices de diversidad de Shannon ( $H'$ ) tuvieron una fluctuación de 0,693 a 1,039, la que demuestra una baja diversidad, dentro de las estaciones, la mayor diversidad fue para la estación 1 y la de menor diversidad, la estación 13. Los índices de dispersión (Simpson1-D) fluctuaron de 0,500 a 0,624; mientras, los de dominancia (copépodos) presentó valores homogéneos; solo diferenciándose en la estación 16 (0,580) y las demás solo tuvieron 0,500. Para determinar las diferencias existentes de la cuantificación de los organismos se ejecutó un análisis no paramétrico (Kruskal Wallis) la que indica que la variación entre los rotíferos para las estaciones tiene una  $H = 7,966$  ( $p = 0,1581$ ), para los cladóceros fue de  $H = 5,563$  ( $p = 0,1349$ ). Al analizar la comparación de la variación de los cladóceros a las diferentes profundidades se determina una  $H = 3,563$  ( $p = 0,4684$ ). Los copépodos son los que tienen una marcada variación de  $H = 8,321$  ( $p = 0,081$ ); al análisis comparativo de los copépodos en las diferentes estaciones se determina una  $H = 3,827$  ( $p = 0,575$ ).

**Laguna Alonso:** Se determinó 8 géneros, agrupados en 4 grupos: copépodos (3), cladóceros (3), rotíferos (2), y 1 especies de fauna acompañante: insectos (1). De los conteos realizados el grupo más importante fue los copépodos (66%; de 6 a 90 org/L) en sus diferentes estadios, representado mayormente por los *Cyclops* y seguido, de los estadios larvales nauplius y copepoditos. Dentro de los cladóceros (29%; de 2 a 32 org/L) el más abundante fue el *Chydorus*. Los rotíferos (5%; entre 1 y 5 org/L) representados por *Keratella* y *Brachionus*. El análisis de la comunidad zooplanctónica presenta que la riqueza de especies para cada una de las estaciones presentó un rango de 0,306 (E-1) a 0,468 (E-3). Los valores de equidad ( $J'$ ) presentaron registros inferiores en la estación 1 (0,249) y los superiores en la estación 2 (0,738). Los índices de diversidad de Shannon ( $H'$ ) tuvieron una fluctuación de 0,274 y 0,745, la que indica una baja diversidad, a excepción de la E-5 con una mayor diversidad y la de menor diversidad la estación 1. Los índices de dispersión (Simpson1-D) para cada estación tuvieron valores de 0,119 y 0,487; los valores de dominancia presentan valores que fluctúan entre 0,615 y 0,937.



**Fauna y flora de las Lagunas Saracocha y Alonso:** Paralelamente a los trabajos se hizo un inventario de la fauna existente en la Laguna Saracocha y Alonso. Se determinó 13 tipos de aves, siendo las más abundantes: choca (*Fulica gigantea*), seguido de la ajoya (*Fulica americana peruviana*), patos, pariguana (zona sur de Saracocha, guallata, gaviota, etc.

En la laguna Alonso se capturó 4 sapos acuáticos adultos del género *Telmatobius culeos*, con tallas entre 20 y 25 cm de longitud corporal.

Los macrófitos existentes en ambas lagunas fueron: *Schaenoplectus tatora* (totora), *Elodea potamogetun* (llacho) y *Myriophyllum*, que se encuentran distribuidas en pequeñas áreas del borde costero y se extiende hasta los 15 m de profundidad.

Especie	Nombre Vulgar	Abundancia
<b>Aves</b>		
<i>Fulica gigantea</i>	Choca	xxxx
<i>Fulica americana peruviana</i>	Ajoya	xxx
<i>Anas georgica</i>	Pato gerga	xx
<i>Anas puna</i>	Pato puna	xx
<i>Anas flavirostris oxypterum</i>	Pato sutra	x
<i>Phoenicoptera chilensis</i>	Pariguana	x
<i>Chloephaga melanoptera</i>	Guallata	x
<i>Larus serranus</i>	Gaviota	x
<i>Plegadis ridwayi</i>	Ibis negro	x
<i>Tringa flavipes</i>	Chorlito andino	x
<i>Metriopelia melanoptera</i>	Palomita	x
<i>Zonotrichia capensis</i>	Pichitanca	xx
<i>Rollandia rolland</i>	Zambullidor	x
<b>Anfibios</b>		
<i>Telmatobius sp.</i>	Sapo acuático	x
<b>Mamíferos</b>		
<i>Llama llama</i> (INIA)	Llama	xxxx
<i>Vicugna vicugna</i> (INIA)	Vicuña	x
<i>Lama pacos</i> (INIA)	Alpacas	xxxx
<i>Bos taurus</i> (INIA)	Vacas	x

xxxx = muy abundante; xxx = abundante; xx = pobre; x = muy pobre

Cabe mencionar que en la zona sur de la Laguna Saracocha, se encuentra el Centro de Banco de Germoplasma de Llamas y Alpaca de Quimsachata del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). El área de crianza de estos camélidos abarca todo el entorno de las lagunas en mención.

## LOGROS

- Se realizó un estudio integral, limnológico y biológico – Pesquero, en ambas lagunas, lo cual ha permitido caracterizar estos dos cuerpos acuáticos y conocer la situación de los recursos pesquero y condiciones limnológicas, tal como se recomienda en el ROPA que estas dos lagunas sean consideradas zonas de reserva.

## RESULTADO: ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA DE LOS PRINCIPALES RECURSOS PESQUEROS Y CONDICIONES LIMNOLÓGICAS DEL LAGO TITICACA. CR 1004 (CONVENIO FONCHIP – IMARPE).

### Condiciones Limnológicas Superficiales

*Temperatura:* 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 01).

El rango de la temperatura superficial del Lago (TSL) fluctuó entre 13,6 a 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.

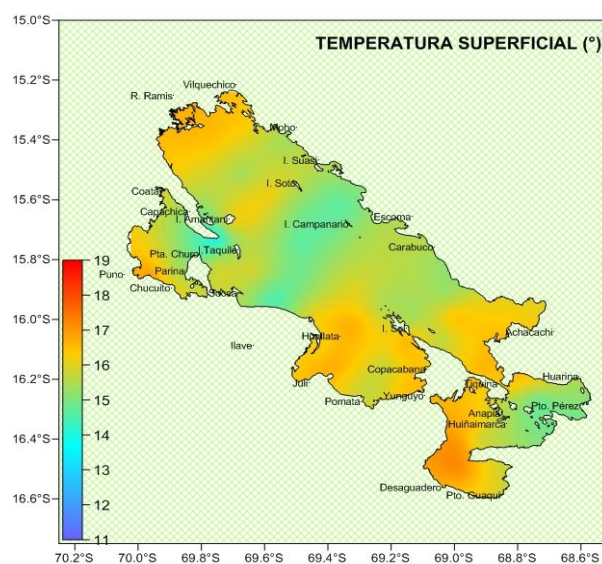


Figura 01. Temperatura superficial del Lago Titicaca (°C).  
Crucero 0410. BIC IMARPE VIII.

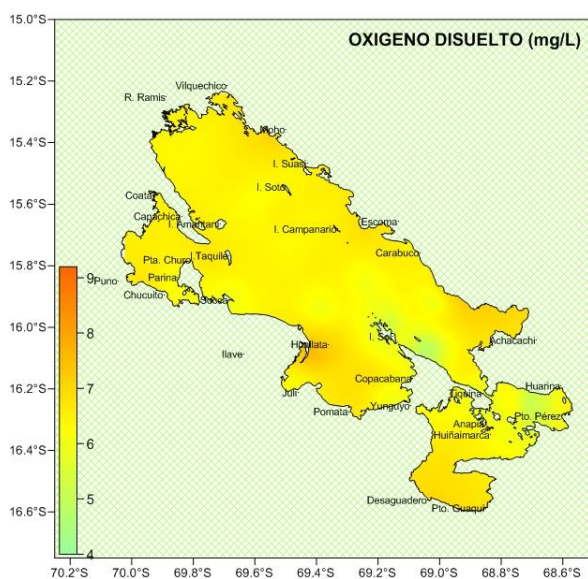


Figura 02. Oxígeno superficial del Lago Titicaca (mg/L).  
Crucero0410. BIC IMARPE VIII.

*Oxígeno disuelto:* El oxígeno disuelto superficial presentó concentraciones entre 4,21 y 7,86 mg/L, registrándose núcleos aislados cercanos a 4,2 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 6,0 mg/L en la casi la totalidad de la superficie del lago (Figura 02). 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.

**pH:** Los valores de pH en la superficie del Lago Mayor, fluctuaron entre 8,10 a 8,90; mientras que en Lago Menor oscilaron entre 7,94 y 8,71 (Figura 03). 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), quien señala valores comprendidos entre 8,55 y 8,65 (1979-80).

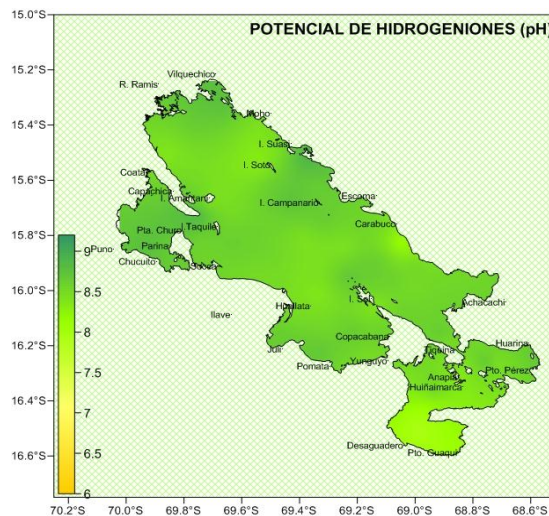


Figura 03. Valores de pH superficial del Lago Titicaca. Crucero 0410. BIC IMARPE VIII.

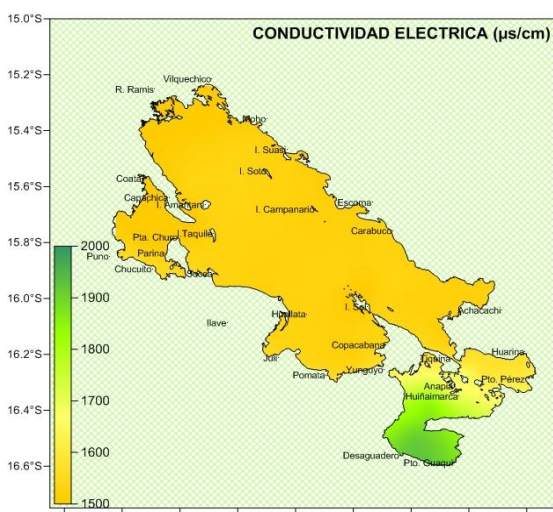


Figura 04. Conductividad eléctrica superficial del Lago Titicaca. Crucero 0410. BIC IMARPE VIII.

**Conductividad eléctrica:** 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 04).

**Alcalinidad total:** La alcalinidad del Lago Titicaca presentó valores en el rango de 100 a 160  $\text{mg}/\text{L}$  de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), correspondiendo los valores más bajos al Lago Menor, el perfil horizontal las aguas del Titicaca mostraron en general valores estables, predominando concentraciones mayores a 120  $\text{mg}/\text{L}$  de  $\text{CaCO}_3$  (Figura 05).

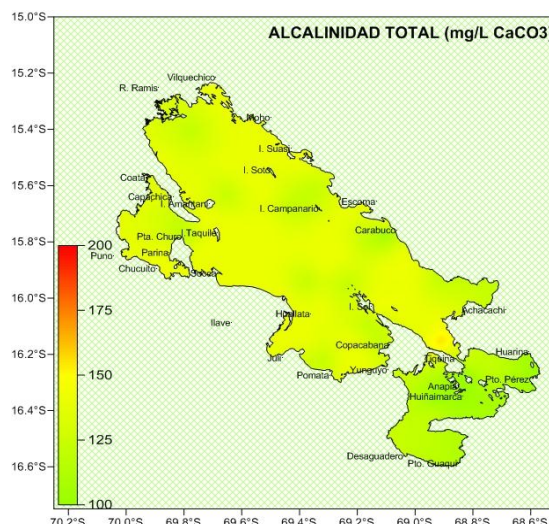


Figura 05. Alcalinidad total superficial del Lago Titicaca. Crucero 0410. BIC IMARPE VIII.

**Dureza total:** La dureza total presentó una distribución variable, con valores en el rango de 307,8 a 410,4 mg/L de CaCO<sub>3</sub>. En el Lago Mayor predominaron concentraciones cercanas a 290,0 mg/L de CaCO<sub>3</sub>; mientras que el Lago Menor presentó valores de dureza más elevados, con un promedio de 370,9 mg/L de CaCO<sub>3</sub>, siendo las concentraciones más estables en toda la superficie. Se aprecia aguas superficiales más duras, a medida que se aproxima al efluente Desaguadero (Figura 06).

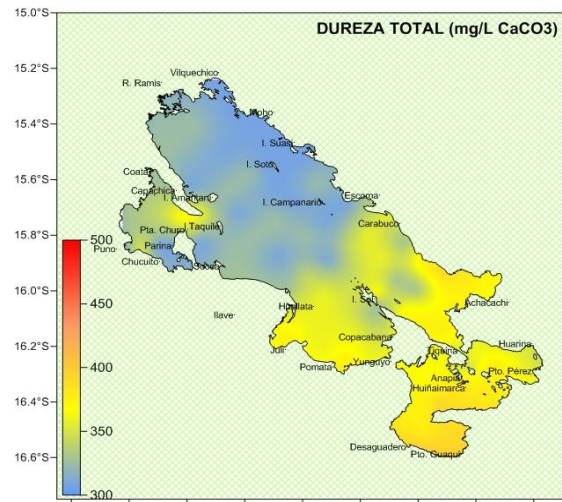


Figura 06. Distribución de la dureza superficial del Lago Titicaca. Cr0410. BIC IMARPE VIII.

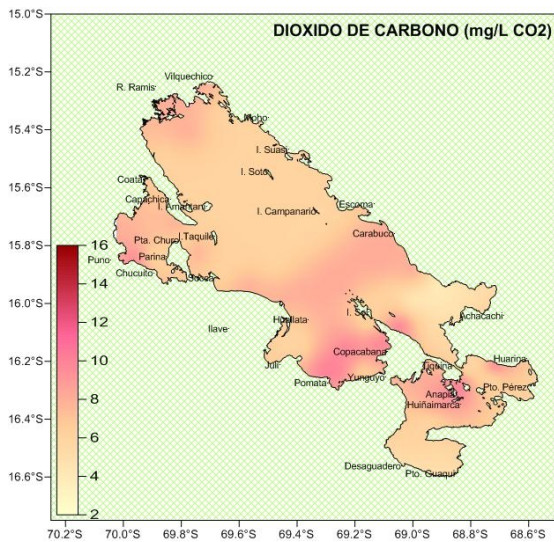


Figura 07. Distribución de CO<sub>2</sub> superficial del Lago Titicaca. Cr0410. BIC IMARPE VIII.

**Dióxido de carbono:** 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 07).

**Turbidez:** 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 area 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 08).

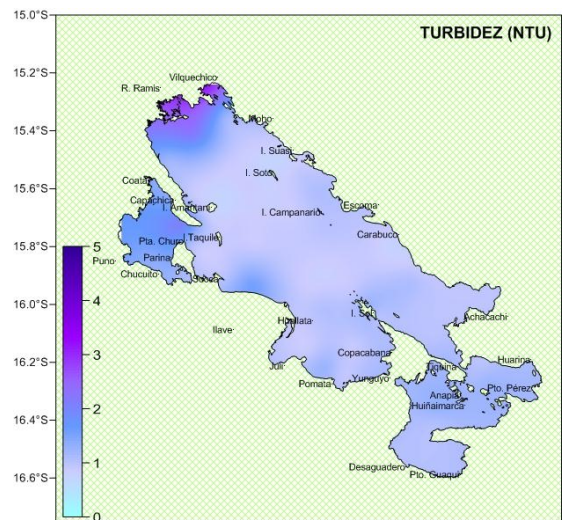


Figura 08. Distribución de turbidez superficial del Lago Titicaca. Cr0410. BIC IMARPE VIII.

## Estructura vertical

*Sección 1: Perfil Chimú – Parina (Bahía de Puno):* Esta sección vertical presentó temperaturas que fluctuaron de 15,2° a 17,0°C, con un comportamiento térmico relativamente homogéneo en todo el perfil a excepción de la zona frente a Chimú 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 Chimú, 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<sub>3</sub>, con valores relativamente menores en la parte media del perfil y hacia la ribera de Parina. El CO<sub>2</sub> registró poca variación, fluctuando entre 6,0 y 10,0 mg/L. Los mayores valores se encontraron hacia la zona de Chimú. La turbidez se mostró mayor en la capa próxima al fondo del perfil, los valores fluctuaron entre 1,3 y 2,6 NTU (Figura 09).

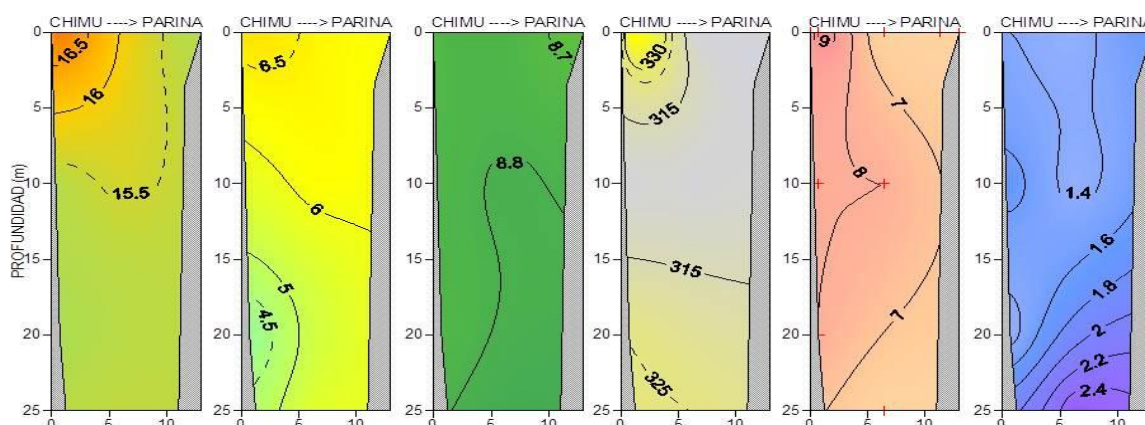


Figura 09. Distribución vertical de la temperatura, oxígeno disuelto, pH, dureza total, CO<sub>2</sub> y turbidez en el perfil Chimú – Parina en la bahía de Puno (distancia en km) durante el Cr1004. BIC IMARPE VIII.

*Sección 2: Perfil Capachica – Moho:* 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 (Fig. 11). 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 CaCO<sub>3</sub>, en la capa superficial hasta los 15 m se presentaron valores hasta de 315,0 mg/L. La concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) 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 10).

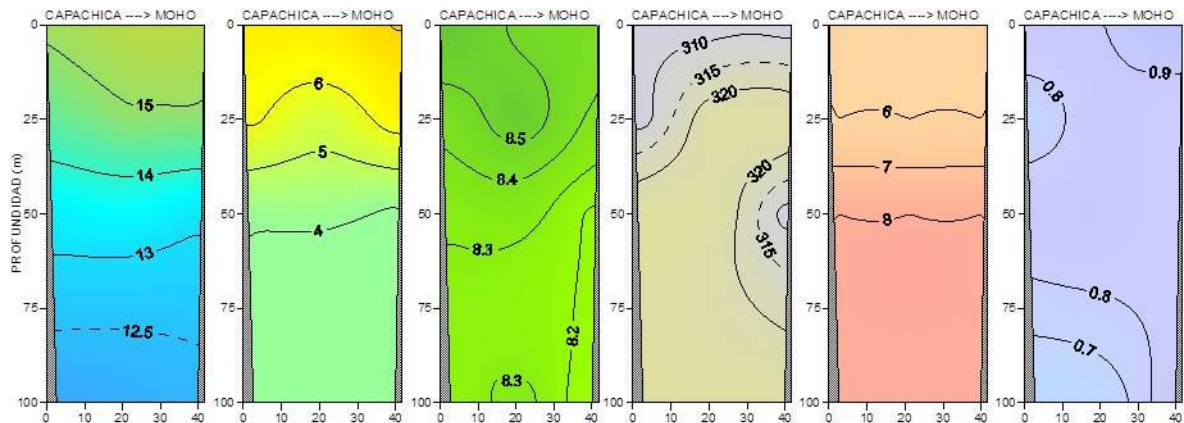


Figura 10. Distribución vertical de temperatura, oxígeno disuelto, pH, dureza total, CO<sub>2</sub> y turbidez en el perfil Capachica- Moho (distancia en km), durante el Cr1004. BIC IMARPE.

**Sección 3: Perfil Villa Socca – Tilali:** 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 el perfil Capachica – Moho, presentó valores entre 307,8 a 324,9 mg/L de CaCO<sub>3</sub>, encontrándose los valores más bajos en superficie. EL dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) 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 11).

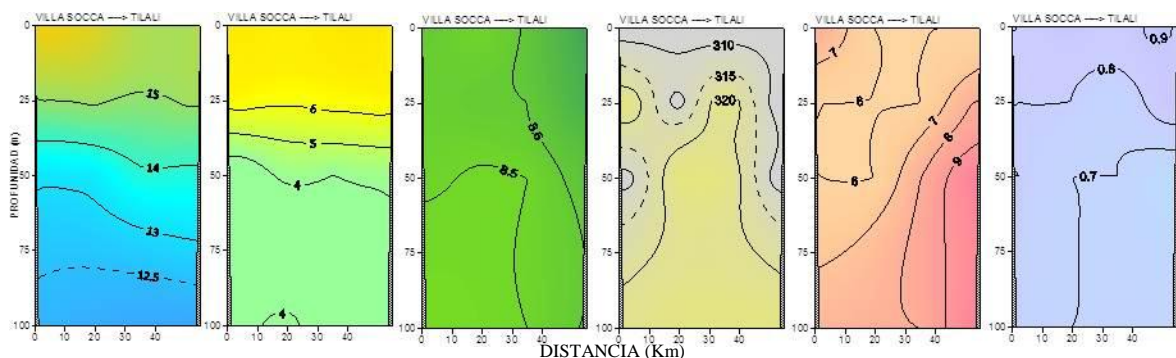


Figura 11. Distribución vertical de la temperatura, oxígeno disuelto, pH, dureza total, CO<sub>2</sub> y turbidez en el perfil Villa Socca- Tilali (distancia en km), durante el Cr1004. BIC IMARPE VIII.

**Sección 4 : Perfil llave – Escoma:** La temperatura mostró una distribución homogénea en toda la columna de agua con 3 isoterma (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 isoterma 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 CO<sub>2</sub>. La dureza total del agua presentó una estratificación vertical, con valores entre 307,8 a 359,1 mg/L de CaCO<sub>3</sub>, se evidenció aguas más duras hacia la zona de llave. La concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) 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 12).

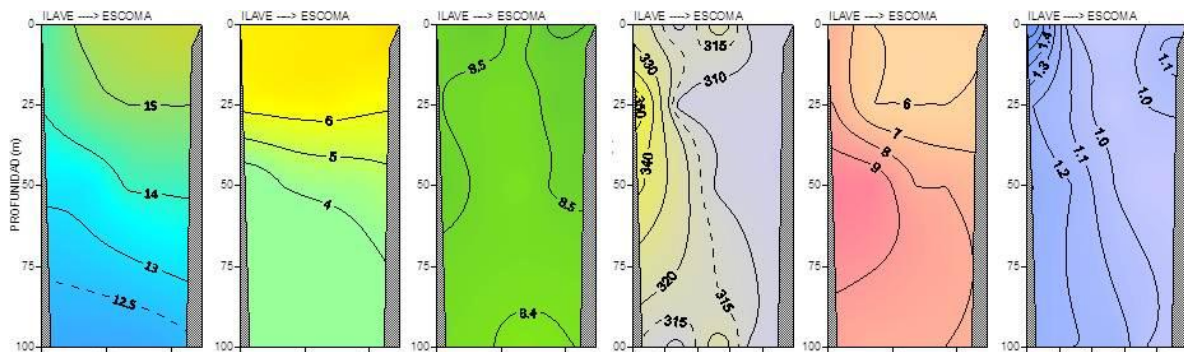


Figura 12. Distribución vertical de la temperatura, oxígeno disuelto, pH, dureza total, CO<sub>2</sub> y turbidez en el perfil llave – Escoma (distancia en km), durante el Cr1004. BIC IMARPE VIII.

*Sección 5: Perfil Pilcuyo – Carabuco:* 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 oscilaron entre 324,9 a 376,2 mg/L de CaCO<sub>3</sub> y la zona media de esta sección presentó los valores menores. La concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) 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 13).

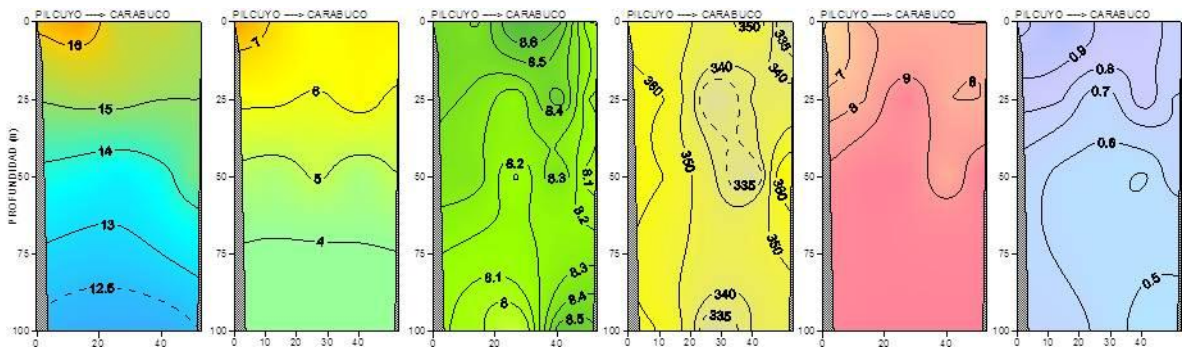


Figura 13. Distribución vertical de la temperatura, oxígeno disuelto, pH, dureza total, CO<sub>2</sub> y turbidez en el perfil Pilcuyo – Carabuco (distancia en km), durante el Cr1004. BIC IMARPE VIII.

**Sección 6: Perfil Desaguadero – Huatajata:** 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<sub>3</sub>, 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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub>. 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 14).

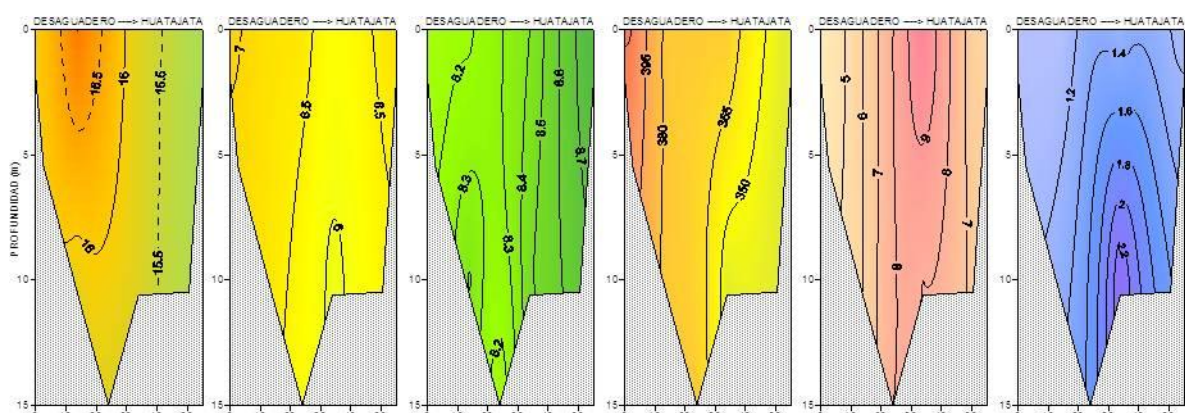


Figura 14. Distribución vertical de la temperatura, oxígeno disuelto, pH, dureza total, CO<sub>2</sub> y turbidez en el perfil Desaguadero – Huatajata en el Lago Menor (distancia en km) durante el Cr1004. BIC IMARPE VIII.

**Densidad:** La densidad del agua del Lago en la zona prospectada (Fig. 15), mostró un rango de isopicnas 999,38 a 999,69 Kg/m<sup>3</sup>, con promedio de 999,59 Kg/m<sup>3</sup>. 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.

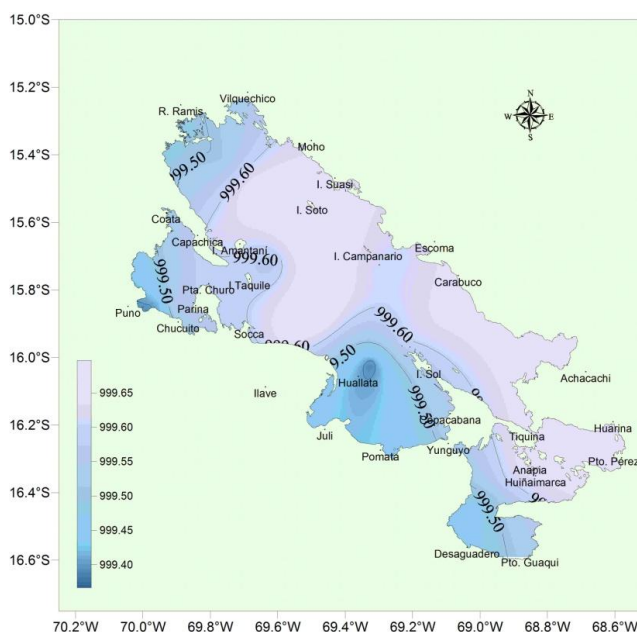


Fig. 15. Distribución de la densidad del agua (kg/m<sup>3</sup>). Crucero de estimación de biomasa de los principales recursos pesqueros del lago Titicaca. Cr 1004. BIC IMARPE VIII.

## Distribución de las corrientes lacustres integradas por capas

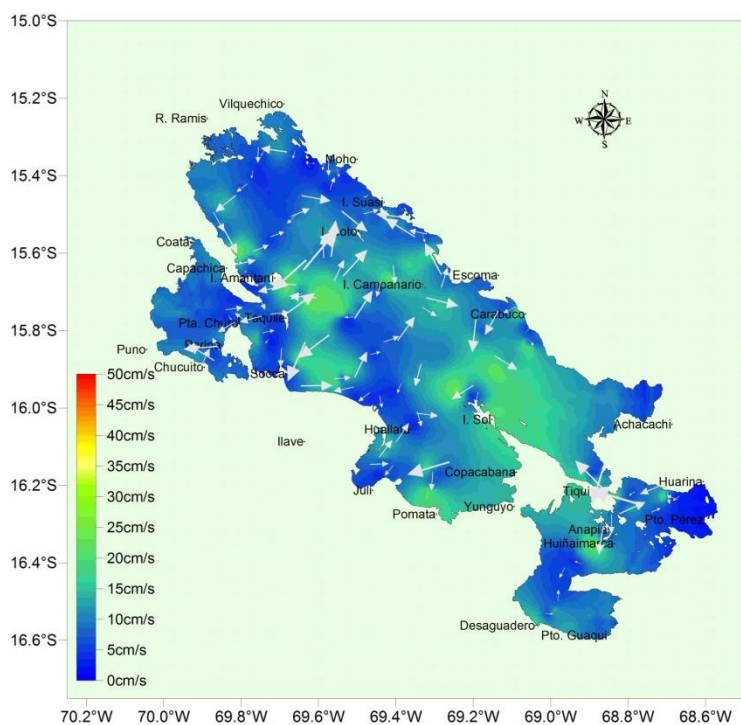


Fig. 16. Velocidad de las corrientes limnológicas (cm/s) en el estrato de 0 – 10 m. Cruce de estimación de biomasa de los principales recursos pesqueros del Lago Titicaca. Cr 1004. BIC IMARPE VIII.

*Estrato 0 – 10 m:* La primera capa de 0 a 10 metros (Fig. 16), 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 (Fig. 17), 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.

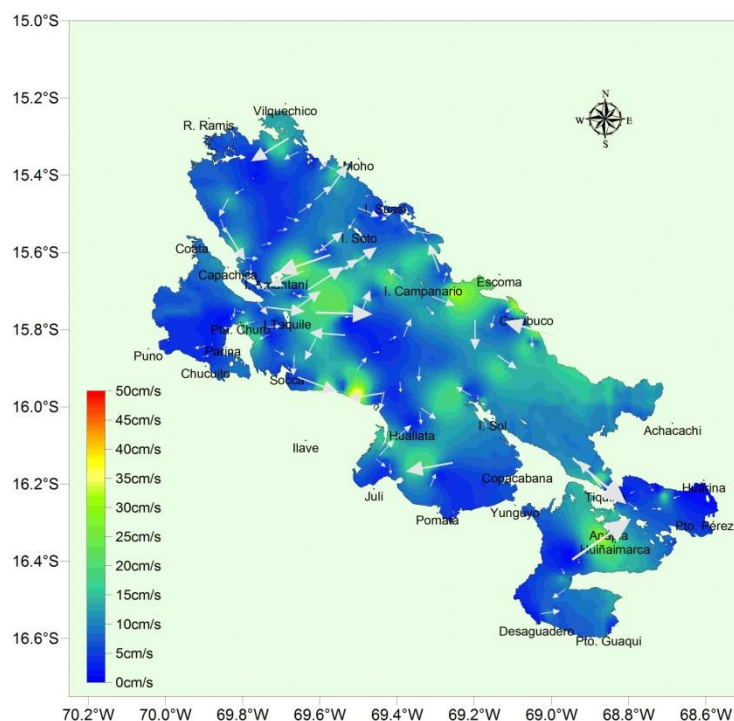


Fig. 17. Velocidad de las principales corrientes limnológicas (cm/s) en el estrato de 10 – 20 m. Cruce de estimación de biomasa de los principales recursos pesqueros del Lago Titicaca. Cr 1004. BIC IMARPE VIII.



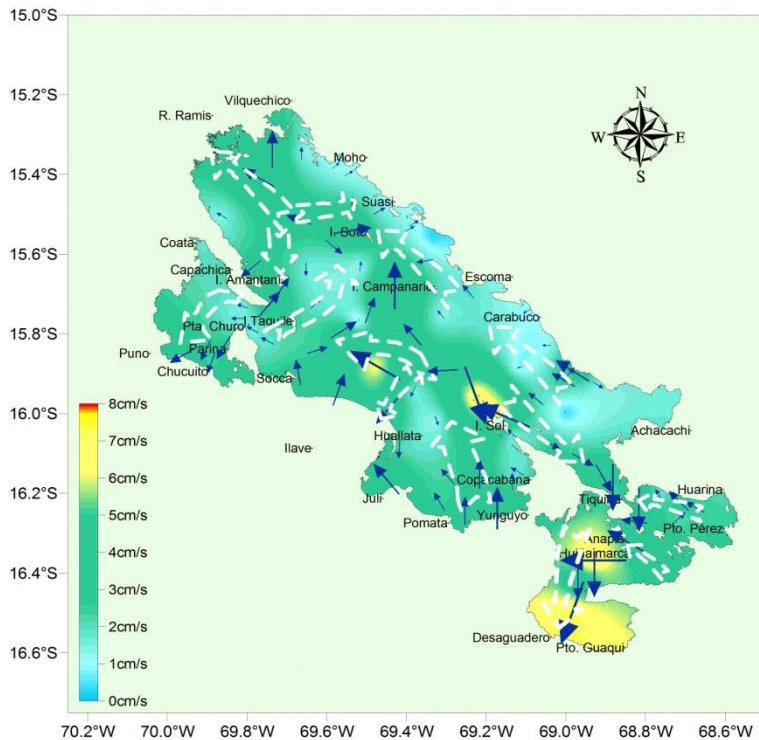


Fig. 20. Velocidad y dirección de vientos en superficie (m/s). Crucero de estimación de biomasa de los principales recursos pesqueros del Lago Titicaca. Cr 1004. BIC IMARPE VIII.

### Velocidad y dirección del viento

Los vientos (Fig. 20) 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 las zona sur de Desaguadero que predominó los vientos del SW, los vientos del SE ubicaron frente a Copacabana y 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.

### Distribución y Biomasa de las Especies Pesqueras

La identificación de las áreas de distribución se presenta de la siguiente manera: muy dispersa (color verde), dispersa (color amarillo), denso (color rojo) y negro (muy denso).

*Ispi (Orestias ispi)*: El *Orestias ispi*, especie de la familia de los ciprinodóntidos, continua siendo el recurso pesquero 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 mn<sup>2</sup>. Hacia el sur, (Lago Menor) 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

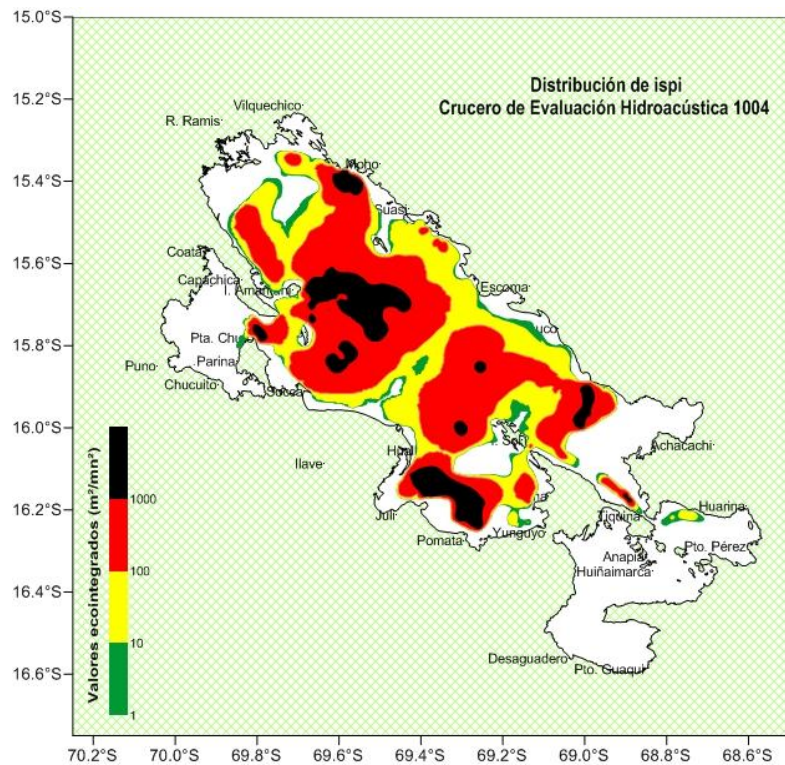


Figura 25. Áreas de distribución y concentración de ispi. Cr1004. BIC IMARPE VIII

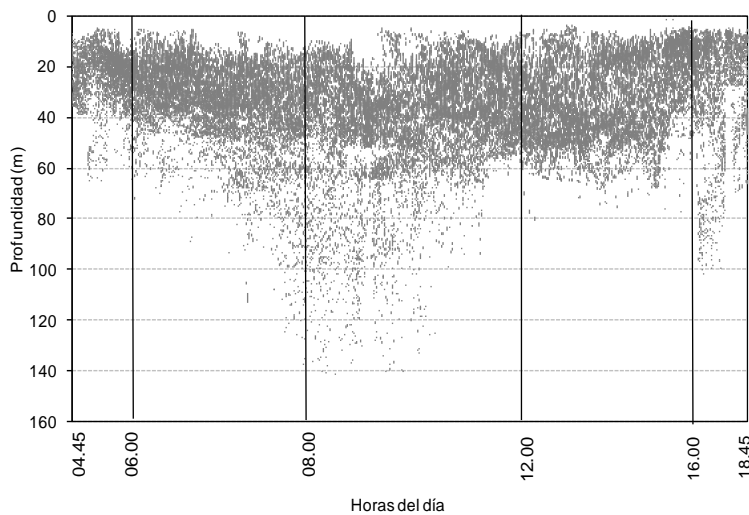


Figura 22. Distribución vertical de los cardúmenes de ispi según horas diurnas. Cr1004. BIC IMARPE VIII

áreas “densas” se observaron al centro del Lago Mayor (rojo). Figura 21. Verticalmente esta especie fue detectada hasta los 140 m de profundidad siendo el promedio de los cardúmenes entre 10 y 40 m (16 mil cardúmenes, 60% del total). Figura 22.

La biomasa estimada para esta especie fue de 65 827 toneladas, con un Límite de confianza de  $\pm 6,5\%$ , siendo la categoría “densa” (rojo) la de mayor abundancia con 35 338 toneladas. Tabla 2.

*Carachi*: El carachi es una especie que generalmente se distribuye en la zona litoral del lago Titicaca y cerca del fondo. Durante el cruceo 1004, su distribución fue de 354  $\text{mn}^2$ , correspondiendo el 83% de este valor a las categorías “dispersa y muy dispersa”. Destacaron algunos núcleos densos frente a Pomata, Acora, Isla Amantani, Puerto Acosta, Escoma y Carabuco. Figura 23.

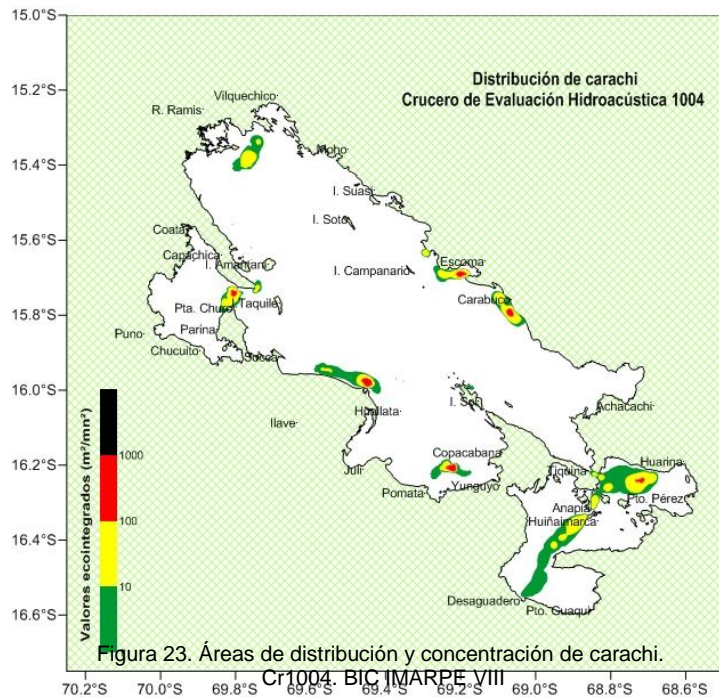


Figura 23. Áreas de distribución y concentración de carachi. Cr1004. BIC IMARPE VIII

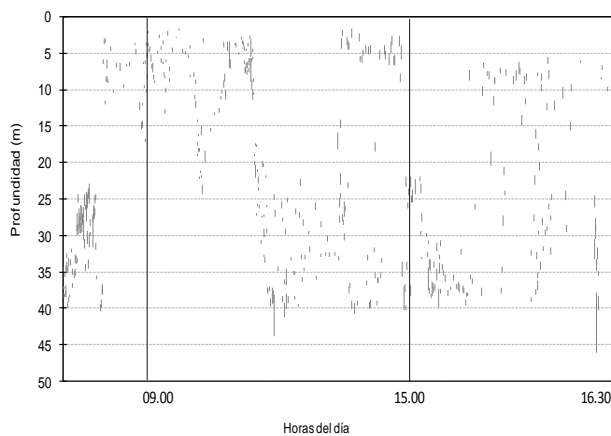


Figura 24. Distribución vertical de cardúmenes de carachi según horas diurnas. Cr1004. BIC IMARPE VII

Verticalmente esta especie fue detectada hasta los 40 m de profundidad con 1 789 cardúmenes detectados. Figura 24.

La biomasa estimada fue 3 171 toneladas, con un Límite de confianza de  $\pm 38\%$ . La mayor biomasa correspondió a la categoría “densa” con 2 269 toneladas. Tabla 2.



## LOGROS

- La ejecución del crucero permitió estimar las biomásas de los principales recursos pesqueros del Lago Titicaca por el método hidroacústico, conocer las características del ambiente lacustre, a través; así mismo, profundizar los estudios sobre la interrelación recurso-ambiente con el objetivo de efectuar recomendaciones para un manejo sostenido en su explotación.

## RESULTADOS: VARIABILIDAD LIMNOLÓGICA EN TRES LÍNEAS FIJAS DEL LAGO TITICACA

Durante el 2010 se realizaron prospecciones en tres líneas limnológicas en el lago Titicaca (Figura 1) comprendidas entre las secciones de: Chimu – Parina (bahía de Puno); Escallani – Moho (zona norte lago Mayor) y Villa Socca – Puerto Acosta (zona media del lago Mayor). El perfil Chimu – Parina tiene una longitud aproximada de 12,8 km, presenta poca profundidad con abundante población de macrófitas, se realiza intensa actividad acuícola hacia la zona de Chimu. Los perfiles Escallani – Moho y Villa Socca – Puerto Acosta, tienen una extensión lineal de 42,1 y 55,2 km respectivamente, se caracterizan principalmente por presentar grandes profundidades y transparencia cercana a 10 m en su parte media.

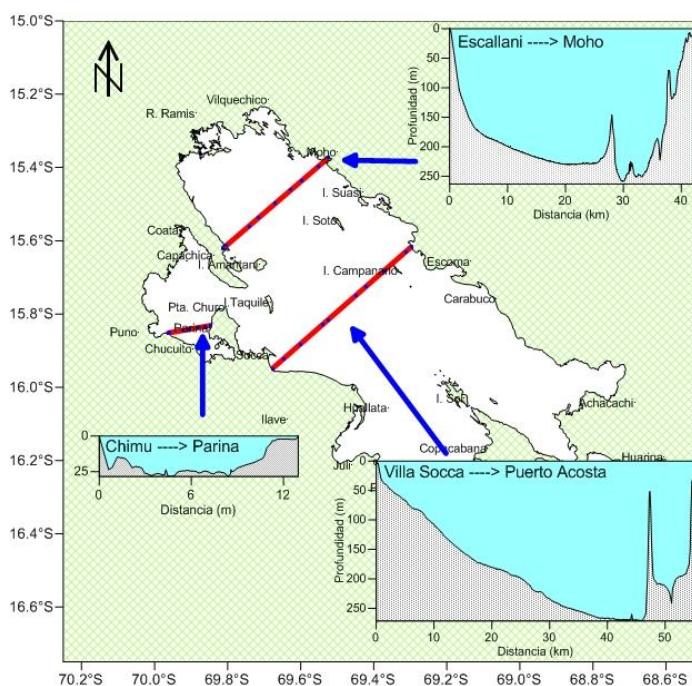


Figura 1.- Ubicación geográfica de las líneas limnológicas en el Lago Titicaca.

El estudio comprendió los registros y/o análisis de: profundidad, transparencia, turbidez, temperatura, pH, oxígeno disuelto, alcalinidad total, dureza total, CO<sub>2</sub>, conductividad eléctrica, sólidos totales suspendidos y disueltos, nutrientes y clorofila "a", las muestras de agua se obtuvieron a profundidades estándar (10, 25, 50, 75 y 100 m) con botellas NISKIN de 5 L de capacidad, mientras que las muestras de agua superficial se obtuvieron con un balde de plástico. La determinación de oxígeno disuelto se realizó a bordo, empleando el método WINKLER modificado por CARRIT y CARPENTER (1966), la determinación de fosfatos, nitritos, nitratos y silicatos se realizó en laboratorio de acuerdo a las técnicas y modificaciones dadas por STRICKLAND y PARSON (1968); para la clorofila se utilizó el método espectrofotométrico de JEFFREY & HUMPHREY (1975), los sólidos suspendidos totales se determinaron por el método APHA 2540-D, la alcalinidad, dureza y CO<sub>2</sub> se determinaron por medio de test HACH Co.

### Perfil Chimu – Parina

En la tabla 1 se muestran los parámetros estudiados y sus valores medios, que permiten una primera aproximación a las características presentadas durante el 2010 en esta sección de la Bahía de Puno, caracterizándose por ser aguas duras y muy duras, alcalinas de rango medio según la clasificación de Kevern (1989), un pH con tendencia básica con ligeras variaciones temporales (Figura 2), alta concentración de sales con marcada variación en un ciclo anual, un ambiente pobre



en contenido de nutrientes y clorofila-a pero con marcada fluctuación, niveles de oxígeno fluctuantes pero normalmente encima de 5 mg/L.

Tabla 1.- Variables estudiadas, medias, desviación típica y número de observaciones durante el 2010 en el perfil Chimú – Parina.

<b>Estadísticos descriptivos</b>					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
Temperatura (°C)	88	12,20	17,80	15,08	1,51
pH	68	7,56	9,45	8,63	,38
Oxígeno disuelto (mg/L)	88	2,99	8,49	6,34	1,05
Conductividad eléctrica (µS/cm)	88	1479,00	1675,00	1563,78	42,24
Turbidez (NTU)	63	,53	3,16	1,36	,50
Sólidos totales suspendidos (mg/L)	88	736,00	838,00	780,01	24,10
CO <sub>2</sub> (mg/L)	87	2,00	16,00	6,56	3,80
Alcalinidad total (mg/L)	88	100,00	176,00	134,14	16,09
Dureza total (mg/L)	88	256,50	427,50	335,39	27,73
Fosfatos (mg/L)	69	,004	,319	,050	,048
Silicatos (mg/L)	69	,111	1,439	,499	,250
Nitratos (mg/L)	70	,014	,310	,074	,061
Nitritos (mg/L)	69	,000	,030	,006	,005
Clorofila-a (mg/m <sup>3</sup> )	67	,08	2,22	,82	,50
Sólidos totales suspendidos (mg/L)	34	1,00	23,75	11,60	7,81
Transparencia (m)	37	1,55	11,00	4,95	2,21
N válido (según lista)	12				

La variación anual de algunos parámetros a nivel superficial se ilustra en la Figura 2, donde la temperatura entre los meses de enero y abril presentó los registros más altos, alcanzando hasta 17°C en la zona litoral de Chimú. Entre los meses de junio y agosto se tuvieron los registros más bajos de temperatura, coincidiendo con la época de frío que afronta normalmente la región de Puno, a partir de septiembre se apreció un calentamiento de las aguas, incrementándose progresivamente conforme se acerca el verano. El contenido de oxígeno disuelto presentó valores relativamente homogéneos durante el año, predominando la iso-oxígena de 7 mg/L, la zona costera próxima a Parina registró las mayores concentraciones de oxígeno. Los valores de pH encontrados presentaron ligeras variaciones, sobre todo en la zona litoral de Chimú, mientras que la conductividad eléctrica registró valores estables durante el año, encontrándose entre 1479 a 1675 µS/cm. Se registró un alto contenido de CO<sub>2</sub> (> 8 mg/L) entre los meses de enero a abril, coincidiendo con los cambios términos de las masas de agua. La clorofila-a superficial fue baja (< 2 mg/m<sup>3</sup>) durante todo el año, hacia la primavera se apreció el incremento de la clorofila, alcanzando los máximos valores en diciembre. Los nutrientes superficiales presentaron cambios diversos en su concentración, los fosfatos, nitratos y nitritos alcanzaron sus máximos valores en las zonas próximas a Chimú. En el caso de los silicatos se observó los valores más altos en verano y primavera (1,0 y 0,8 mg/L SiO<sub>3</sub> respectivamente) y una fuerte disminución en otoño (0,1 mg/L), coincidiendo esto con el patrón de temperatura superficial observado.

La estructura vertical (Figura 3) mostró durante el 2010 diversos escenarios para los diferentes parámetros monitoreados. La temperatura entre enero y abril mostró los registros más altos y una gradiente térmica >1°C. El enfriamiento de las masas de agua se presentó a partir de mayo, acentuándose con mayor intensidad en Julio. A partir de septiembre se apreció un incremento

gradual de la temperatura con relación a la profundidad, hasta alcanzar sus máximos valores en diciembre. La distribución vertical de oxígeno disuelto, al igual que en la capa superficial, presentó ligeras variaciones, predominando la iso-oxígena de 7 mg/L, en diciembre se registró las concentraciones más bajas de este gas, alcanzando hasta 4,0 mg/L a 25 m de profundidad. La concentración de CO<sub>2</sub>, presentó valores relativamente homogéneos (<7 mg/L), a excepción de los meses de marzo y abril, donde se registraron las mayores concentraciones de este gas (16 mg/L y 14 mg/L respectivamente). La concentración de clorofila-a presentó variaciones asociadas a cambios térmicos de la columna de agua, en los meses cálidos los valores más altos se presentaron en zonas adyacentes al fondo del lecho lacustre y en los meses fríos estos valores se encontraron en capas más superficiales.

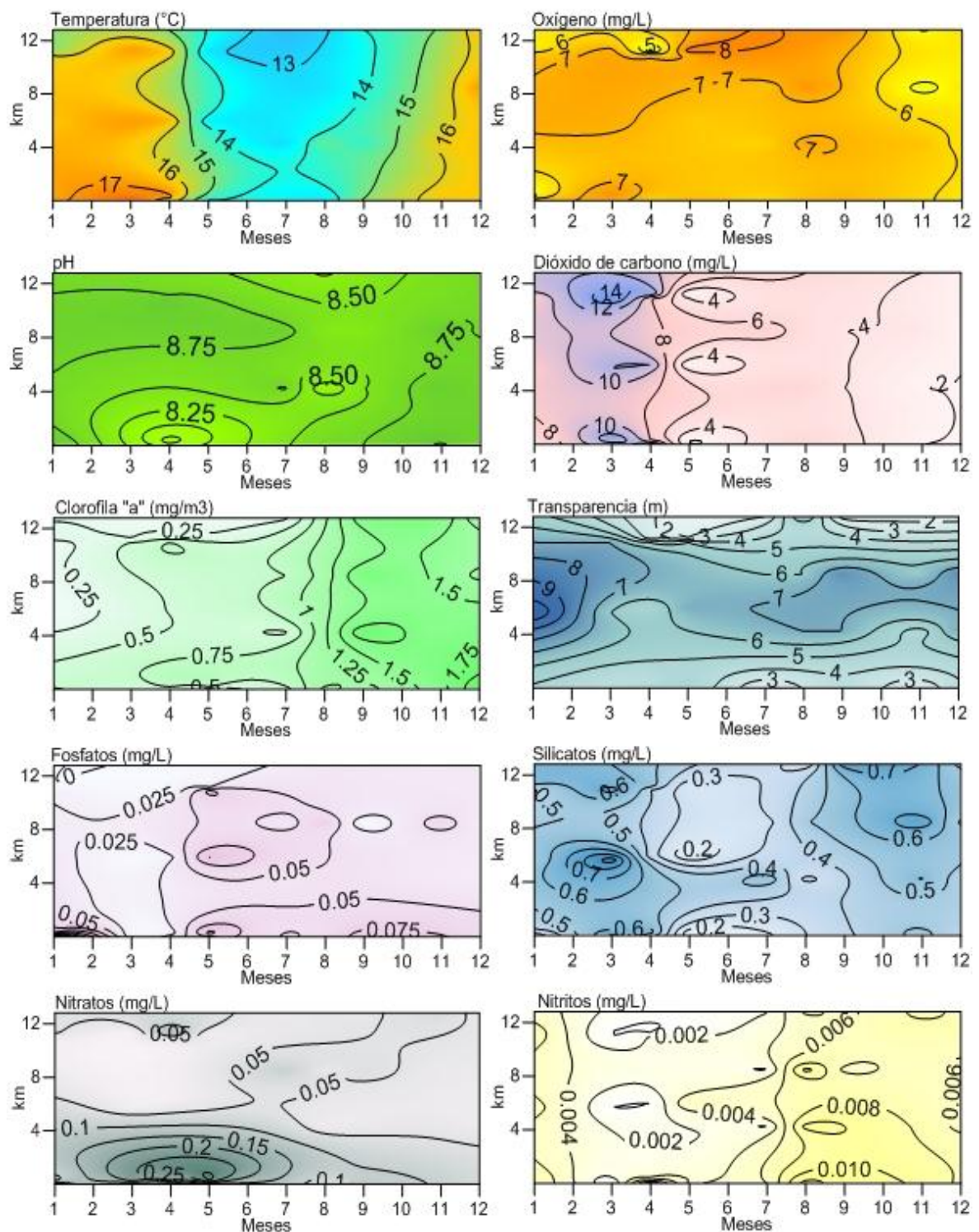


Figura 2.- Serie mensual de temperatura, oxígeno disuelto, pH, CO<sub>2</sub>, clorofila-a, transparencia y nutrientes en la superficie del lago Titicaca en el perfil desde Chimu a Parina, según distancia en km (ver ubicación del perfil en la fig. 1).

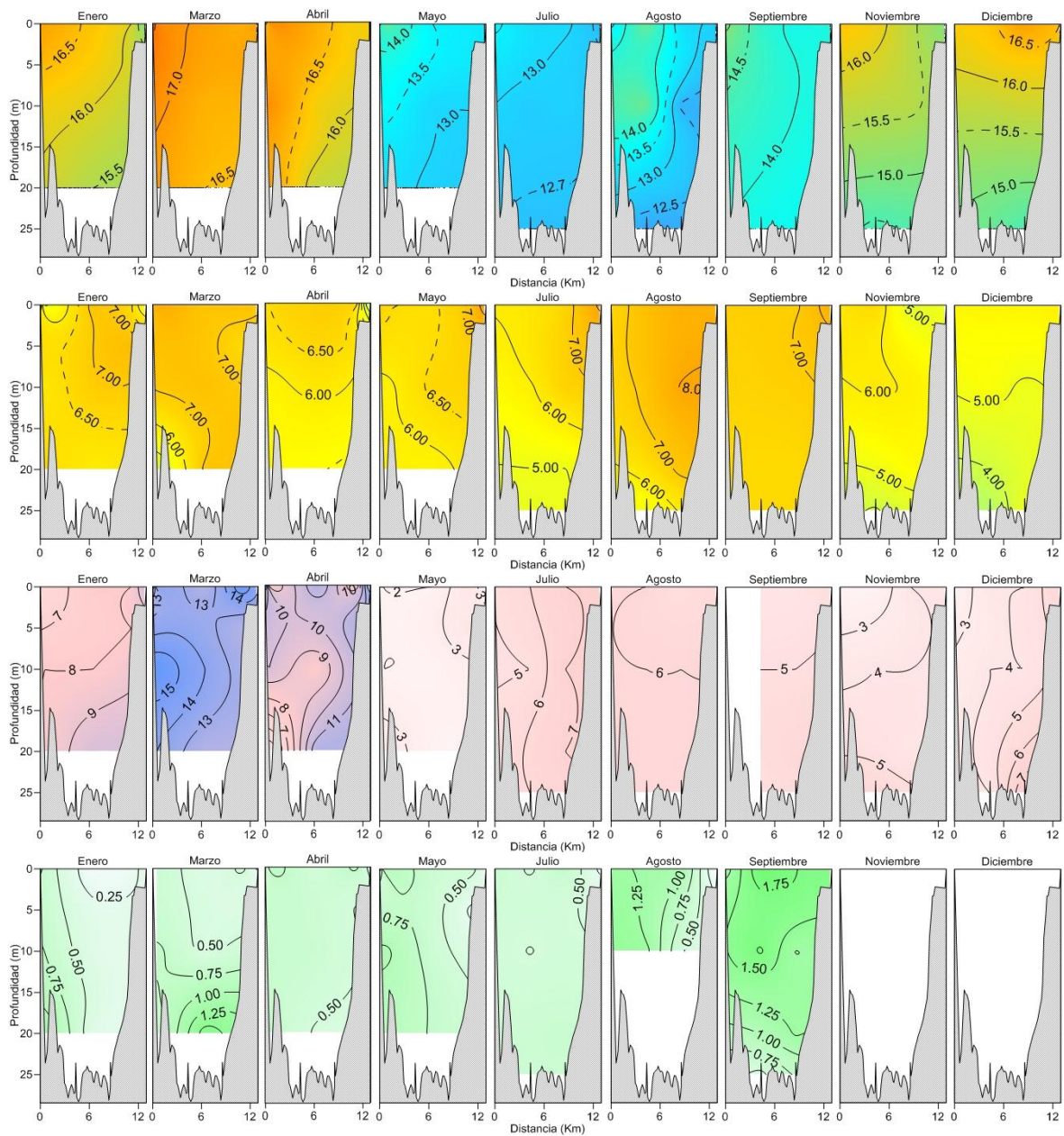


Figura 3.- Variación estacional de la distribución vertical de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), oxígeno disuelto ( $\text{mg/L}$ ),  $\text{CO}_2$  ( $\text{mg/L}$ ) y clorofila-a ( $\text{mg/m}^3$ ) en el perfil Chimu – Parina, durante el 2010.

### Perfil Escallani – Moho

En esta sección del lago, durante el 2010, se presentaron variaciones en los parámetros estudiados que se muestran en la tabla 2. Ello evidencia cambios en la estratificación térmica de la columna de agua que influyen directamente la solubilidad del contenido de oxígeno disuelto hasta los 100 m de profundidad (Figura 5); así mismo, destacan marcadas diferencias en el pH entre las estaciones y periodos de muestreo, una reserva de alcalinidad media, que evita cambios bruscos en los valores de pH, la alta conductividad eléctrica, sólidos disueltos y el valor dureza son propias de aguas duras y muy duras. Los valores de nutrientes, clorofila-a y transparencia ponen de manifiesto el estado oligotrófico en esta sección del lago, pero con mayor variación en sus valores en la zona litoral (Figura 5).

Tabla 2.- Variables estudiadas, medias, desviación típica y número de observaciones durante el 2010 en el perfil Escallani – Moho.

**Estadísticos descriptivos**

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
Temperatura (°)	164	12,00	17,00	13,90	1,30
pH	117	7,79	9,07	8,42	,27
Oxígeno disuelto (mg/L)	164	3,02	8,64	5,64	1,21
Conductividad eléctrica (µS/cm)	164	1457,00	1654,00	1556,62	39,62
Turbidez (NTU)	114	,27	2,73	,92	,45
Sólidos totales disueltos (mg/L)	164	725,00	877,00	776,62	22,88
CO <sub>2</sub> (mg/L)	161	2,00	18,00	6,39	2,63
Alcalinidad total (mg/L)	161	100,00	182,00	139,88	16,72
Dureza total (mg/L)	161	256,50	410,40	327,02	28,73
Fosfatos (mg/L)	96	,001	,670	,054	,081
Silicatos (mg/L)	96	,151	1,832	,659	,368
Nitratos (mg/L)	96	,003	,335	,076	,066
Nitritos (mg/L)	96	,000	,034	,004	,005
Clorofila-a (mg/m <sup>3</sup> )	76	,03	1,63	,48	,41
Transparencia (m)	49	2,00	12,30	7,56	2,53
N válido (según lista)	21				

En la Figura 4, se grafican estos cambios a nivel superficial, la temperatura mostró sus valores mas altos durante el verano (17°C), a partir de junio se apreció el enfriamiento de la masa de agua, siendo agosto el mes más frio (12°C) y a partir de octubre se apreció el calentamiento de la superficie del lago. El oxígeno disuelto presentó valores estables durante el año, ligeramente más altos en los meses de verano, el valor promedio de oxígeno encontrado fue de 6,6 mg/L. Los valores de pH no mostraron grandes fluctuaciones (valor promedio 8,56), así como la conductividad eléctrica y la alcalinidad total que mostraron estabilidad durante el año, permitiendo que el pH se mantenga estable. El contenido de CO<sub>2</sub> encontró sus valores más altos (>8 mg/L) entre los meses de enero a abril y hasta los 30 km de distancia (cerca de Moho), coincidiendo con masas de agua cálidas y pH menores a 8,5. La clorofila-a fue baja (< 2 mg/m<sup>3</sup>), notándose un incremento progresivo en el transcurso del año, encontrándose hacia la zona costera de Escallani (primavera) los mayores valores. Los fosfatos, alcanzaron sus máximos valores en la zona costera de Escallani entre abril y julio (0,46 mg/L PO<sub>4</sub>). Los silicatos alcanzaron sus máximos valores entre el verano y mediados de otoño (hasta 1,76 mg/L SiO<sub>3</sub>), así como en la primavera (hasta 1,24 mg/L SiO<sub>3</sub>), en invierno la concentración de los silicatos disminuyó hasta 0,17 mg/L, estos cambios en su concentración, al igual en la Bahía de Puno, estuvieron relacionados con períodos de calentamiento y enfriamiento de la superficie del lago. Los Nitratos presentaron valores bajos, siendo ligeramente mayores en la zona costera, mientras que los nitritos presentaron un ligero incremento a partir de agosto, si embargo estos valores son estables y bajos.

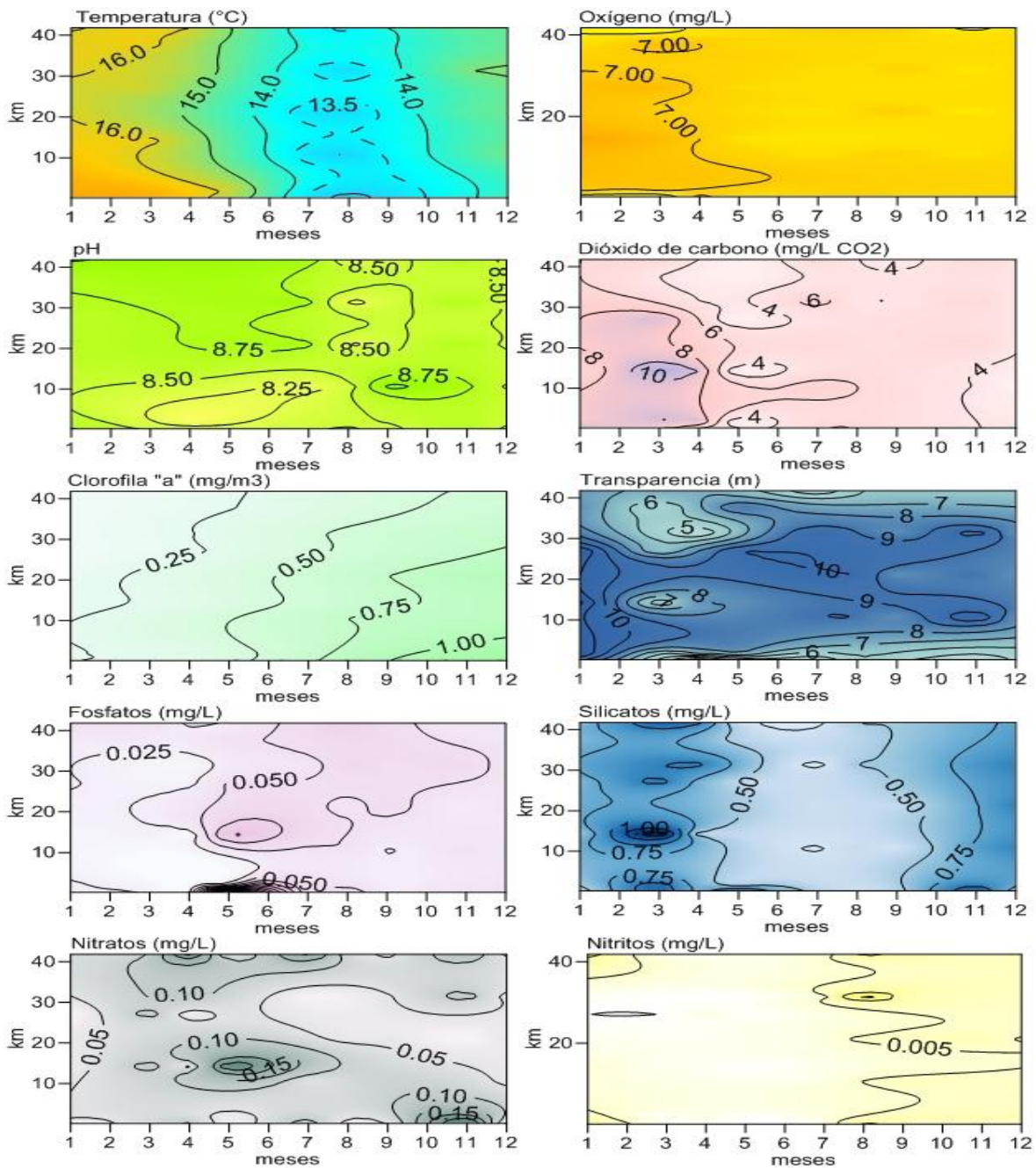


Figura 4.- Serie mensual de temperatura, oxígeno disuelto, pH, CO<sub>2</sub>, clorofila-a, transparencia y nutrientes en la superficie del lago Titicaca en el perfil de Escallani a Moho, según distancia en km (ver ubicación del perfil en la fig. 1).

La variación vertical de algunos parámetros indicados en la tabla 2, también se representan en la Figura 5, donde la estratificación térmica es más acentuada en el verano, con una gradiente de 4°C entre la superficie y los 100 m de profundidad. En agosto se produjo el rompimiento de la termoclina, produciéndose la mezcla total de la columna de agua (hasta los 100 m); a partir de septiembre se produjo el calentamiento de la superficie del agua con la aparición de la isoterma de 14°C y en diciembre se notó el establecimiento de dos isotermas claramente definidas. La concentración de oxígeno disuelto hasta los 50 m de profundidad presentó valores óptimos para el desarrollo de la vida acuática en la mayoría de los periodos evaluados (>5 mg/L), el verano (enero y febrero) se caracterizó por presentar alto contenido de oxígeno con valores de hasta 7,0 mg/L a 25 m de profundidad. Los cambios en la concentración de oxígeno disuelto estuvieron fuertemente influenciados por los cambios térmicos de la columna de agua, la iso-oxígena de 6 mg/L es la que representa mejor estos cambios, profundizándose inclusive más de 100 m en el periodo de mezcla

(agosto) y manteniéndose entre 25 y 50 m en periodos estratificados. El CO<sub>2</sub>, mostró las mayores concentraciones en periodos estratificados, principalmente en enero y febrero alcanzando concentraciones superiores a 12 mg/L en las capas más profundas. La concentración de clorofila-a fue pobre, típica de ambientes oligotróficos, salvo en agosto donde se apreció un fuerte incremento producto del afloramiento de aguas profundas.

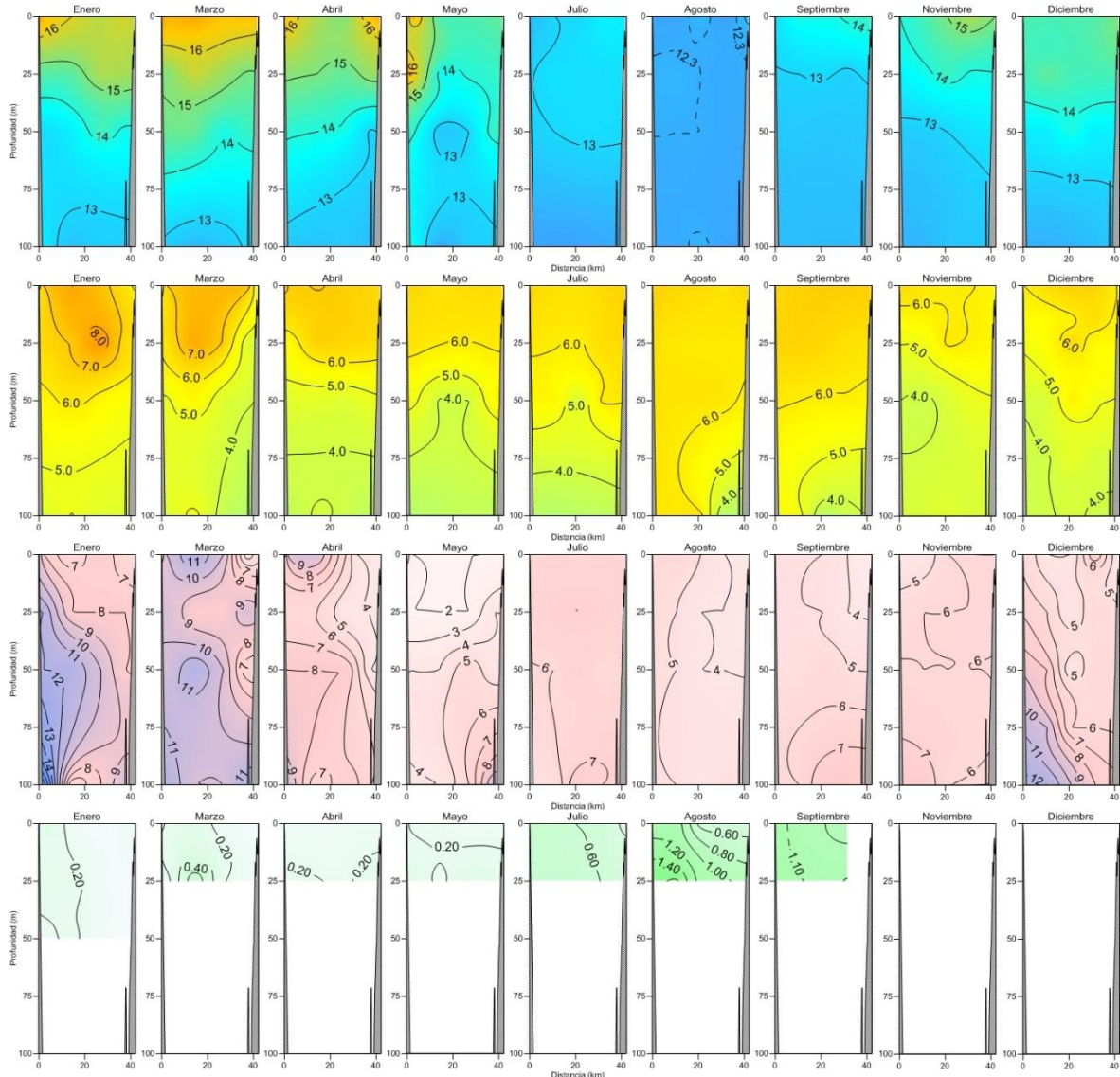


Figura 5.- Variación estacional de la distribución vertical de temperatura (°C), oxígeno disuelto (mg/L), CO<sub>2</sub> (mg/L) y clorofila-a (mg/m<sup>3</sup>) en el perfil Escallani – Moho, durante el 2010.

### Perfil Villa Socca – Puerto Acosta

La variación de los parámetros estudiados en la sección Villa Socca – Puerto Acosta durante el 2010 se resume en la tabla 3. Se presentó variaciones de la temperatura variaciones entre la superficie y el fondo, así como la estacionalidad del año, sufriendo un ciclo estacional en periodos cálidos y calmos, otro de circulación y homogenización de la columna de agua, hasta los 100 m de profundidad observados, en periodos fríos y ventosos. Estos cambios en la estructura térmica influenciaron en la solubilidad del oxígeno disuelto, con un pH básico fluctuante entre la superficie y los 100 m, con cambios brusco, debido a una reserva alcalina media. Según los registros de conductividad encontrados, las aguas serian consideradas duras y muy duras, lo que concuerda con los valores de dureza. La concentración de nutrientes, clorofila-a y transparencia indican que el

medio acuático en la parte central de lago, presenta condiciones oligotróficas. Sin embargo alta variabilidad encontrada está relacionada con las mayores concentraciones encontradas en zona litoral próxima a la costa.

Tabla 3.- Variables estudiadas, medias, desviación típica y número de observaciones durante el 2010 en el perfil Escallani – Moho.

<b>Estadísticos descriptivos</b>					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
Temperatura (°)	189	11,90	17,40	13,56	1,16
pH	139	7,68	9,51	8,40	,33
Oxígeno disuelto (mg/L)	189	1,92	7,32	5,17	1,37
Conductividad eléctrica (µS/cm)	189	1476,00	1634,00	1561,98	37,46
Turbidez (NTU)	124	,16	2,92	,75	,37
Sólidos disueltos totales (mg/L)	189	738,00	817,00	779,65	20,45
CO <sub>2</sub> (mg/L)	185	2,00	14,00	6,31	2,81
Alcalinidad total (mg/L)	185	100,00	168,00	138,94	14,14
Dureza total (mg/L)	185	239,40	395,10	319,46	30,55
Fosfatos (mg/L)	109	,005	1,487	,077	,170
Silicatos (mg/L)	109	,199	1,505	,609	,298
Nitratos (mg/L)	108	,007	,421	,084	,076
Nitritos (mg/L)	109	,000	,036	,005	,005
Clorofila-a (mg/m <sup>3</sup> )	83	,05	1,70	,59	,53
Transparencia (m)	53	2,00	11,00	7,34	2,26
N válido (según lista)	20				

A nivel superficial (Figura 6), la temperatura entre los meses de enero y abril presentó los registros más altos, alcanzando temperaturas cercanas a 17,0°C. Entre los meses de julio y septiembre se tuvieron los registros más bajos de temperatura (12,2°C), a partir de octubre se apreció el calentamiento de la superficie del lago en este sector, hasta los 40 de distancia aproximadamente: En el transcurso del año a partir de los 40 km (cerca de puerto Acosta) la superficie del agua mantuvo temperaturas relativamente bajas, que tendrían mayor relación con variaciones de la temperatura del aire en el transcurso del día. El contenido de oxígeno disuelto presentó concentraciones superiores a 5 mg/L durante el año, con núcleos aislados menores a 4 mg/L (Figura 7) en las zonas litorales de Villa Socca y Puerto Acosta. Los valores de pH encontrados presentaron ligeras variaciones, calculándose un promedio de 8,59, esta estabilidad del pH, al igual que en las dos secciones anteriores, está relacionada con la acción amortiguadora del sistema de alcalinidad al presentar estabilidad durante todo el año. La concentración de CO<sub>2</sub> presentó valores ligeramente mayores en verano, con un núcleo aislado que sobrepasó los 9 mg/L en la zona próxima a Puerto Acosta; en el resto de los meses la concentración de este gas mostró poca fluctuación predominando concentraciones de 5 mg/L. La clorofila-a alcanzó sus máximos en las zonas litorales a partir de agosto; si embargo, la concentración media de clorofila-a durante el año denota un ambiente pobre en productividad del ecosistema. Los fosfatos, nitratos y nitritos, presentan concentraciones bajas, salvo en abril donde se apreció un fuerte incremento de los fosfatos en ambas zonas litorales del perfil, debido posiblemente a un aporte terrígeno producto de las precipitaciones presentadas durante la prospección (0,5 mm). La variación en la concentración de silicatos está relacionada con cambios térmicos de la masa de agua, al igual que en las secciones anteriores, correspondiendo las mayores concentraciones a periodos cálidos. Los nitratos y nitritos se encontraron en concentraciones bajas, con valores promedio de 0,072 y 0,048 mg/L



respectivamente. Se apreció disminución de la concentración de nitratos, con valores de  $<0,05$  mg/L, a mediados del año, asociado con el enfriamiento de la capa superficial del lago.

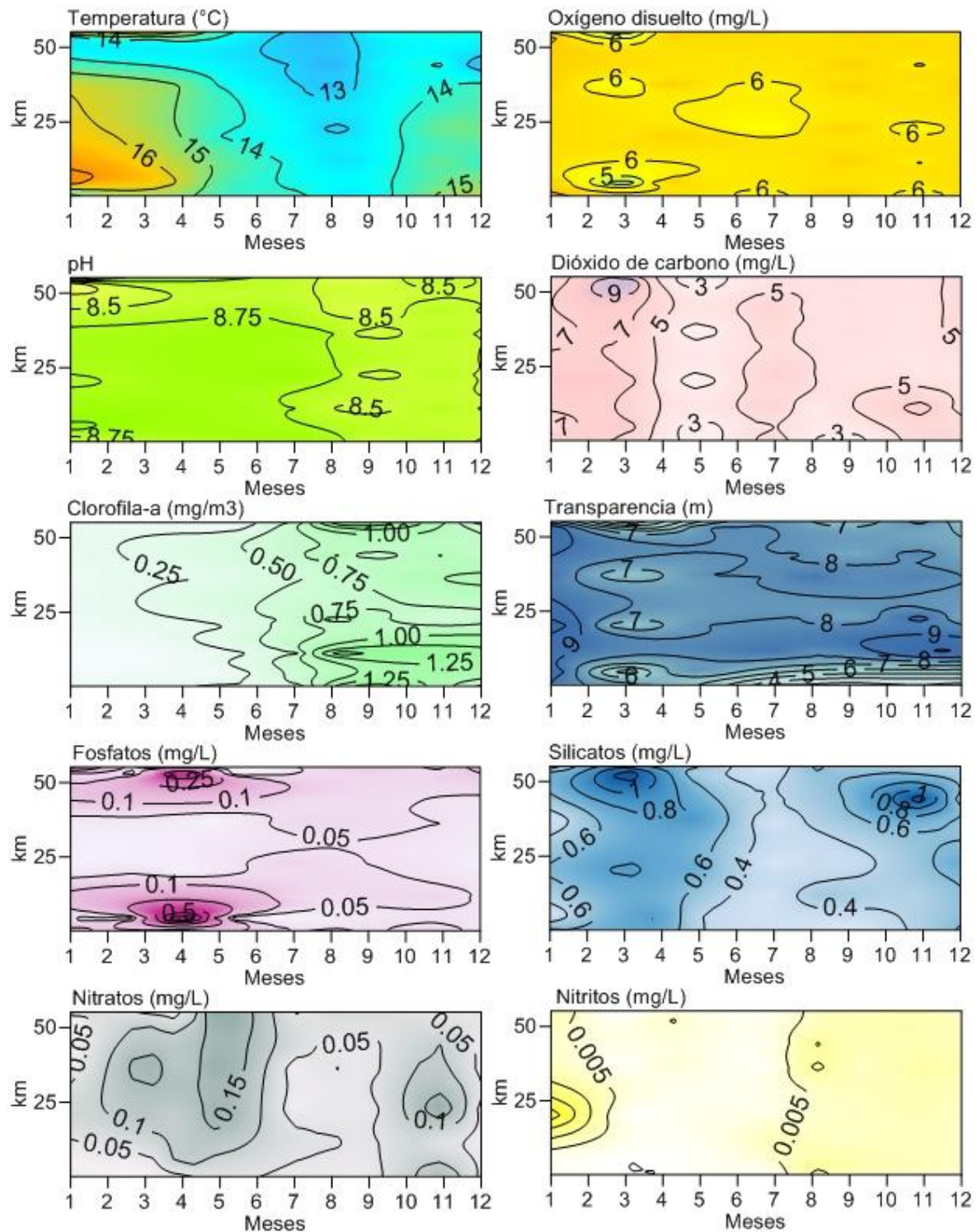


Figura 6.- Serie mensual de temperatura, oxígeno disuelto, pH, CO<sub>2</sub>, clorofila-a, transparencia y nutrientes en la superficie del lago Titicaca en el perfil Villa Socca – Puerto Acosta.

A nivel vertical (Figura 7) hasta los 100 de profundidad, en los meses de enero y febrero, el ambiente lacustre se presentó claramente estratificado con 4 isotermas bien definidas (13 a 16°C). A partir de mayo se observó el enfriamiento de la zona intermedia del perfil, con el desplazamiento de la isoterma 14°C hacia la zona litoral y en agosto la columna de agua se mostró homogénea con

valores entre 12,0 y 12,5°C. A partir de septiembre se evidenció el calentamiento de la columna de agua, con la profundización de la isoterma 13°C hasta aproximadamente 20 m y en diciembre se apreció la formación de la termoclina mostrando las isotermas 13 y 14°C. La concentración de oxígeno disuelto hasta los 25 m de profundidad presentó valores óptimos para el desarrollo de la vida acuática en la mayoría de los periodos evaluados (>5 mg/L); durante el periodo de mezcla (agosto) la iso-oxígena 5 mg/L se profundizó por debajo de los 100 m. Los periodos de estratificación termal se caracterizaron por presentar concentraciones de oxígeno mayores a 6 mg/L en la capa superficial, excepto en marzo que registró una pronunciada disminución de oxígeno en la zona litoral. El CO<sub>2</sub>, mostró las mayores concentraciones en periodos estratificados, principalmente en enero y febrero alcanzando concentraciones hasta de 12 mg/L a los 100 m; mientras que las altas concentraciones encontradas por debajo de los 70 m en mayo y noviembre, estarían relacionadas con periodos intermedios de desaparición y formación de la termoclina, donde la isoterma de 13°C se profundiza entre 60 y 70 m. La concentración de clorofila-a fue pobre, típica de ambientes oligotróficos, al igual que en la sección Escallani – Moho, en agosto se apreció un fuerte incremento de la concentración de la clorofila-a, producto del afloramiento de aguas profundas en periodo de mezcla.

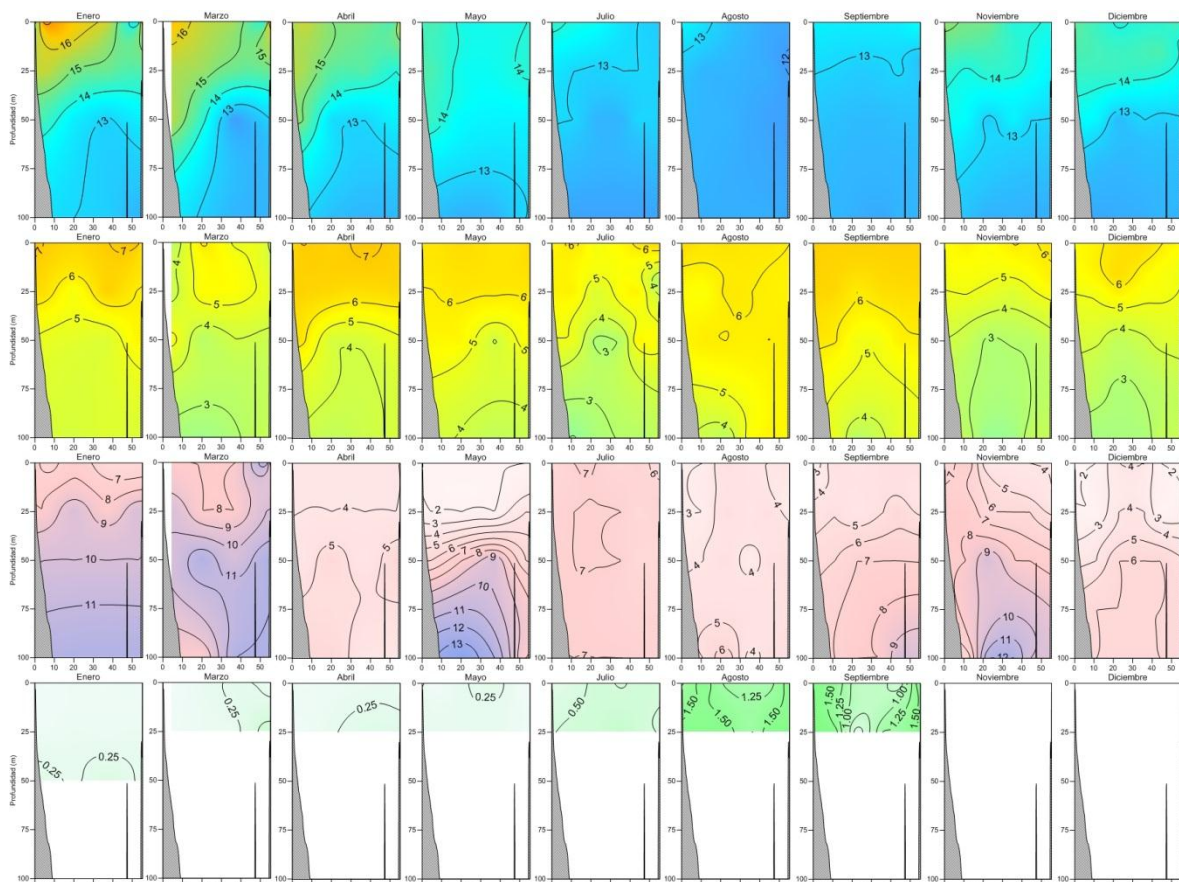


Figura 7.- Serie mensual de temperatura, oxígeno disuelto, pH, CO<sub>2</sub>, clorofila-a, transparencia y nutrientes en la superficie del lago Titicaca en el perfil Villa Socca – Puerto Acosta.

## LOGROS

- Se cuenta con información de la variabilidad estacional de los principales parámetros fisicoquímicos en un ciclo anual, que permite caracterizar el medio acuático y profundizar en el conocimiento de la ecología del lago. Se ha logrado construir una base de datos geográfica, que será de suma importancia para futuras investigaciones. Asimismo, la alimentación continua de esta base de datos permitirá medir los efectos del cambio climático en el lago Titicaca. Reportes quincenales y mensuales.

## RESULTADOS: INFORMACIÓN SOBRE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL LAGO (TSL) Y OXÍGENO DISUELTOS SUPERFICIALES EN ESTACIONES FIJAS DEL LAGO TITICACA

El estudio comprendió 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 (Figura 1). Las mediciones de temperatura superficial del lago (TL) 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), las muestras se colectaron al medio día.

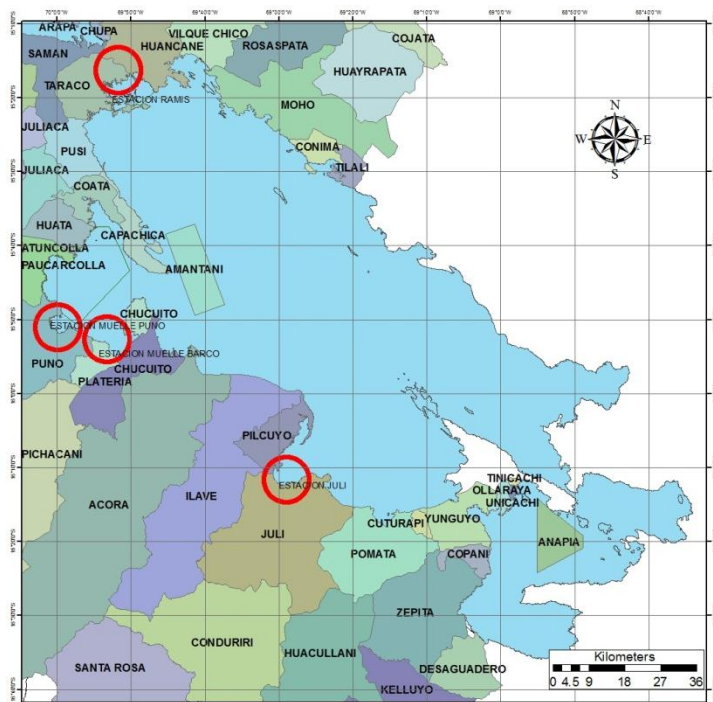


Figura 1.-Ubicación geográfica de las estaciones fijas en el lago Titicaca

A partir de octubre, adicional a la estación Muelle Barco, se consideró como estación limnológica el Muelle Puno. Se obtuvo reportes diarios del SENAMHI, sobre la periodicidad en las fluctuaciones del nivel hídrico del lago y precipitaciones.

### 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 (Figura 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.

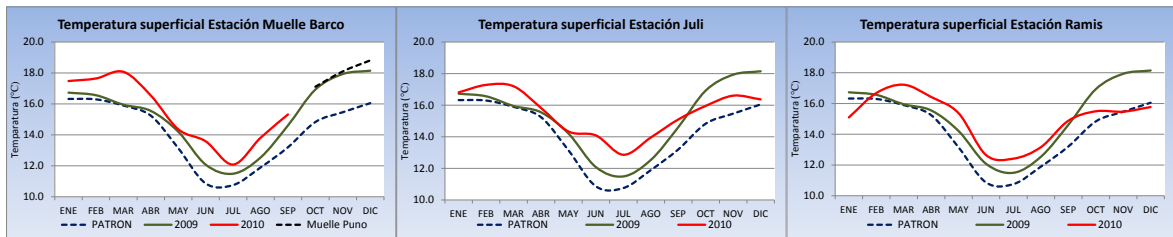


Figura 2.- Variación temporal de la temperatura superficial del lago en las estaciones fijas Muelle Puno, Juli y Ramis durante el 2010.

### Oxígeno disuelto

La concentración de oxígeno disuelto a nivel superficial presentó oscilaciones dinámicas en el transcurso de los días de observación (Figuras 2, 3 y 5), con marcadas diferencias en el año, que se reflejan en la disminución de oxígeno disuelto en periodos 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.

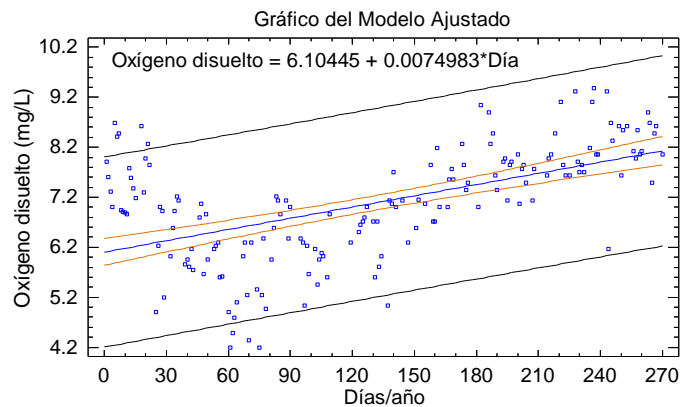


Figura 3.- Regresión simple entre Oxígeno disuelto (mg/L) vs tiempo (meses) en la estación Muelle Barco.

La Figura 3, muestra los resultados de ajustar un modelo lineal para describir la relación entre oxígeno disuelto y los días de observación, mediante la ecuación:  $O_2 = 6.10445 + 0.0074983 \cdot \text{Día}$ . El valor-P del ANOVA ( $<0,05$ ) indica que existe una relación estadísticamente significativa entre la concentración de oxígeno disuelto y los días de evaluación aun nivel de confianza del 95%. El estadístico  $R^2$  indica que el modelo ajustado explica 29,85% de la variabilidad en oxígeno disuelto y el coeficiente de correlación ( $=0.55$ ), indica una relación moderadamente fuerte entre las variables.

La Figura 4, 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  $R^2 = 18.55\%$ .

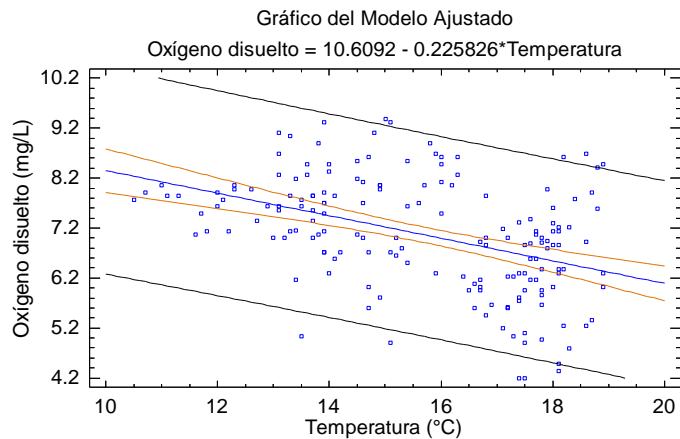


Figura 4.- Regresión simple entre Oxígeno disuelto (mg/L) vs Temperatura (°) en la estación Muelle Barco.

### Nivel hídrico y precipitaciones

En la Figura 5, se puede apreciar la variación del ciclo hidrológico de las lluvias durante el 2010. Tuvo un comportamiento multimodal inversa, 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 (Figura 5), 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. Las precipitaciones desde febrero acumularon datos recopilados de SENAMHI (Estación Puno).

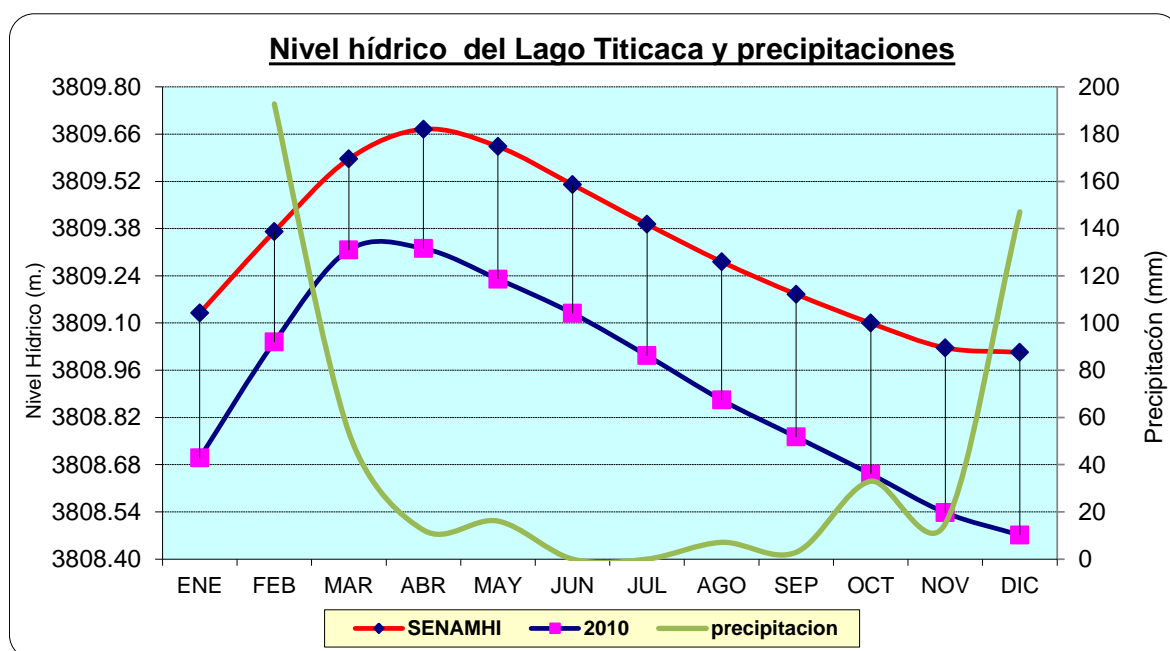


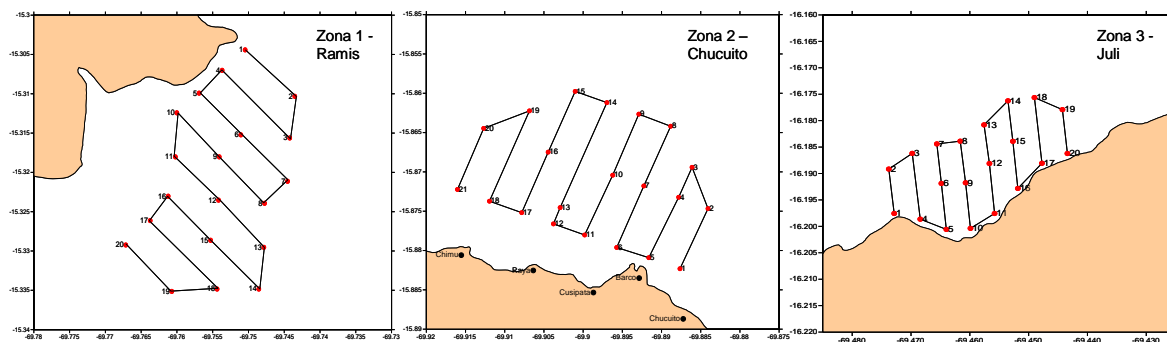
Figura 5.- Fluctuación del nivel hídrico del Lago Titicaca y precipitaciones presentadas durante el 2010 en la ciudad de Puno.

### **LOGROS**

- Se cuenta con información diaria de la temperatura superficial de lago en tres zonas y oxígeno disueltos en Muelle Puno, que permite conocer la variación espacio temporal. Además, sirve de información complementaria a estudios limnológicos estacionales y de la pesquería del lago Titicaca. Se dispone de información actualizada que sirve de fuente de información para la comunidad científica.

## RESULTADOS: MONITOREO LIMNOLÓGICO DE LOS PRINCIPALES PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS EN ZONAS SELECCIONADAS DEL LAGO TITICACA Y OTROS ESPEJOS DE AGUA CON FINES DE ACUICULTURA.

En base a la información obtenida en prospecciones ejecutadas 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 1): 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).



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

### Aspectos fisicoquímicos

**Zona Ramis:** La tabla 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 CaCO<sub>3</sub>, 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

. Tabla 1.- Resumen estadístico de los principales parámetros fisicoquímicos evaluados en Ramis en marzo y noviembre del 2010.

Resúmenes de casos																		
Mes	Lance (m)		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 <sup>3</sup> )
	Superficie	Media																
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	688.60	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	.894
		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

**Zona Chucuito:** El ambiente lacustre entre marzo y noviembre registró temperaturas promedio que oscilaron entre 18,1° y 15,8°C respectivamente (Tabla 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 CaCO<sub>3</sub>, se encontró en el rango de 138,0 a 143,0 mg/L, con valores muy similares a la zona de Ramis.

Tabla 2.- Resumen estadísticos de los principales parámetros fisicoquímicos evaluados en Chucuito en marzo y noviembre del 2010

Resúmenes de casos																		
Mes	Lance (m)		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 <sup>3</sup> )
	Superficie	Media																
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	1.824	.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	1.804	.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	1.0987	.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	.64
	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	2.296	.0012	.0213	.4
	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	8.44	18.58	1.03	20.16	4.79	2.37	6.62	.0161	2.657	.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	2.474	.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	1.973	.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	2.272	.0034	.0576	.57

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 recomendado protección de la vida acuática en agua dulce.

**Zona Juli:** En esta zona (Tabla 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 CaCO<sub>3</sub>, 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 CaCO<sub>3</sub>, 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.- Resumen estadísticos de los principales parámetros fisicoquímicos evaluados en Juli 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/m3)
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		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	,8193	,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	,8874	,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 fosfatos se encontró por encima del valor recomendado, propiciando el desarrollo de especies biológicas indeseables y la eutrofización.

### 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 en 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 2).

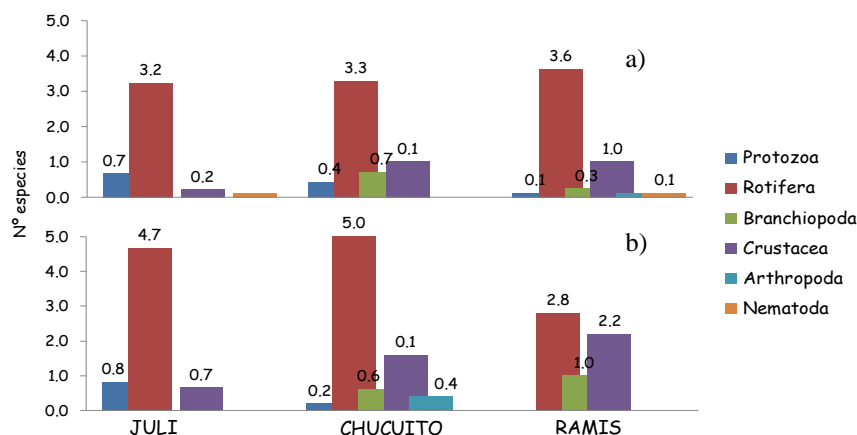


Figura 2. Distribución espacial del número de especies por grupo taxonómico de la comunidad zooplanctónica: a) superficie y b) fondo, en marzo 2010.



**Abundancia:** En cuanto a las abundancias, en la superficie los valores fluctuaron entre  $8 \pm 5$  ind.ml<sup>-1</sup> (Ramis) y  $10 \pm 11$  ind.ml<sup>-1</sup> (Chucuito). En el fondo los valores fluctuaron entre  $7 \pm 4$  ind.ml<sup>-1</sup> (Ramis) y  $24 \pm 21$  ind.ml<sup>-1</sup> (Chucuito).

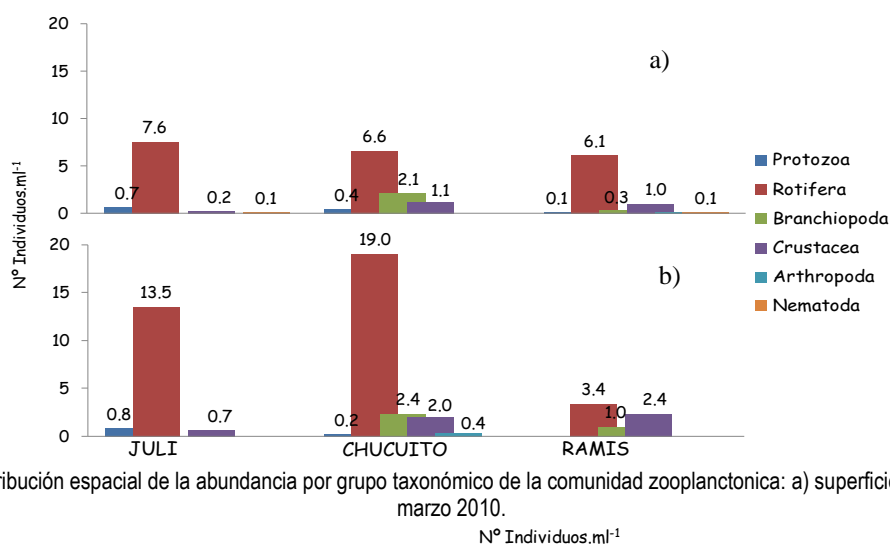


Figura 3. Distribución espacial de la abundancia por grupo taxonómico de la comunidad zooplanctónica: a) superficie y b) fondo, en marzo 2010.

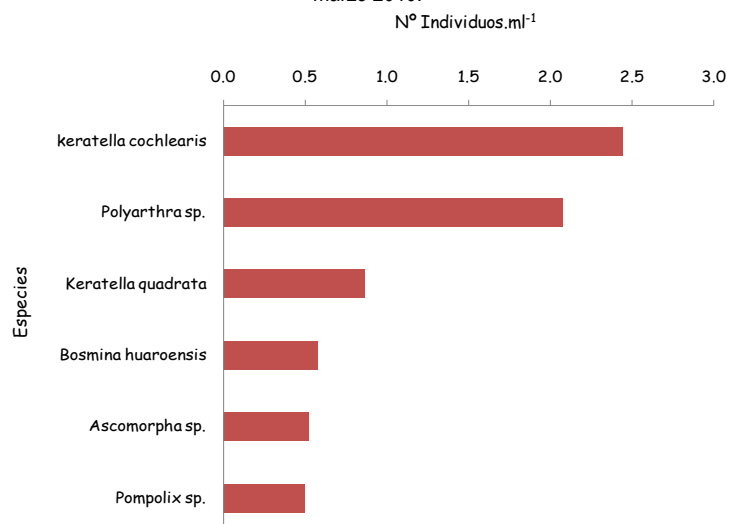


Figura 4. Abundancia relativa de las principales especies de la comunidad zooplanctónica

El grupo más abundante fueron los rotíferos, con promedios entre 7 ind.ml<sup>-1</sup> (Superficie) y 12 ind.ml<sup>-1</sup> (Fondo) (Fig. 3), con dominancia numérica promedio de *Keratella cochlearis* (2 ind.ml<sup>-1</sup>), *Polyarthra sp* (2 ind.ml<sup>-1</sup>) y *Keratella quadrata* (1 ind.ml<sup>-1</sup>) (Fig. 4).

**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<sup>-1</sup> (Ramis) (Fig. 5).

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<sup>-1</sup> (Juli)

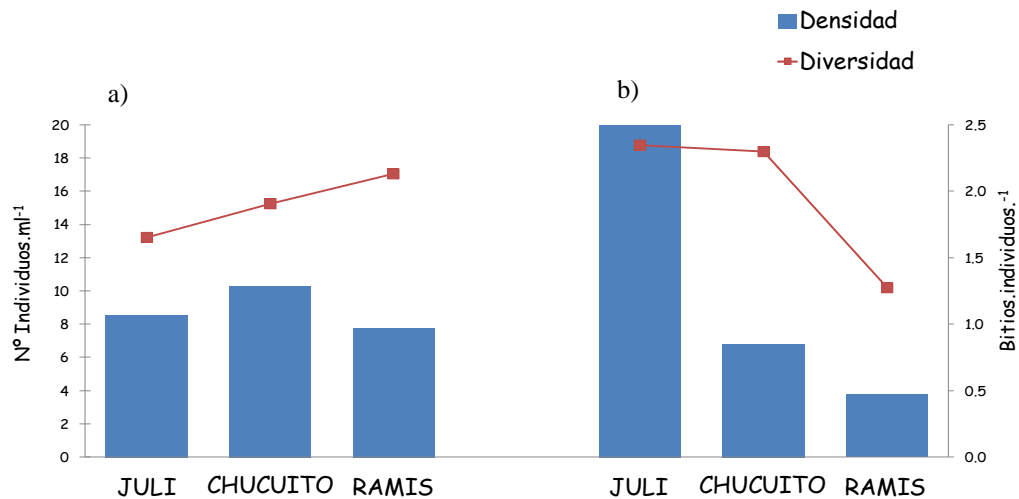


Figura 5. Distribución espacial de la abundancia y diversidad de la comunidad zooplanctónica: a) superficie y b) fondo, en marzo 2010.

**Análisis comunitario:** El análisis NMDS muestra un estrés de 0,19, la formación de dos grupos cercanos entre sí (Figura 6a) 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 (*Keratella cochlearis* y *Polyarthra* sp) y copépodos (Figura 6b) y el segundo grupo formado por la localidad de Juli, con dominancia de los rotíferos.

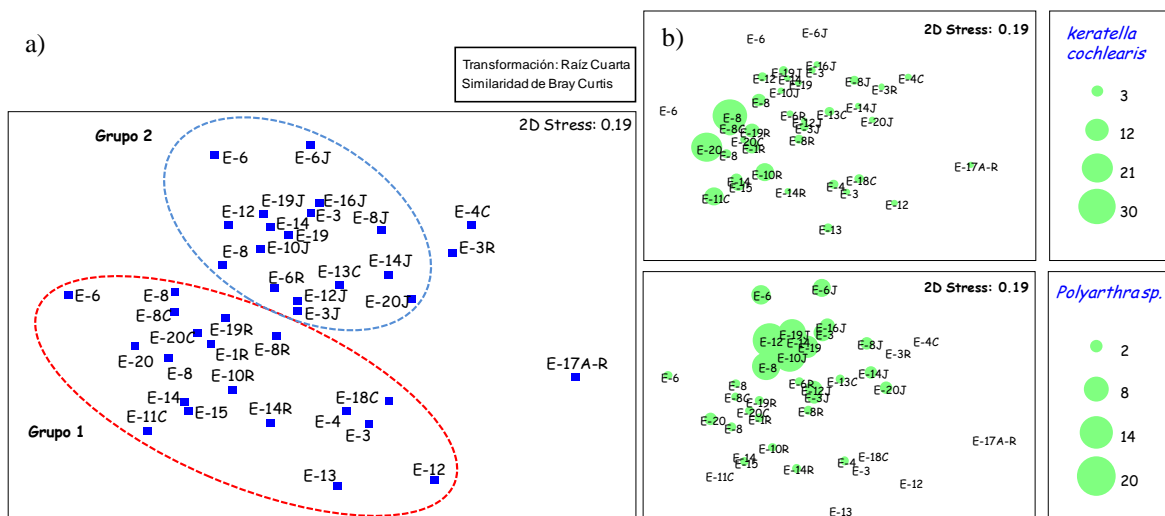


Figura 6. a) Análisis de escalamiento no métrico multidimensional (NMDS) y b) Distribución espacial de las especies dominantes de la comunidad zooplanctónica, en marzo 2010.

Los copépodos calanoideos del genero *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<sup>-1</sup>). Siendo los Rotíferos los que registraron moderada dominancia numérica (alrededor de 15 ind.ml<sup>-1</sup>) 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%) (Figura7).

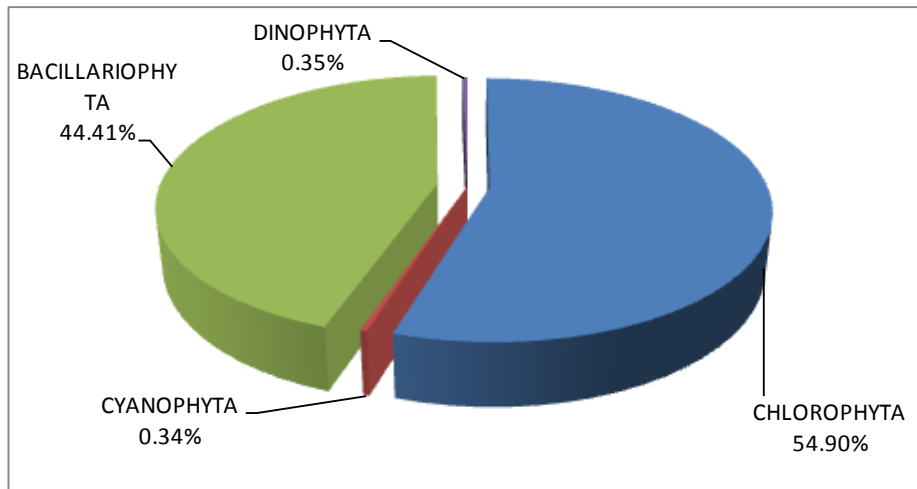


Figura 7 Composición porcentual de la flora planctónica

Los grupos Chlorophyta y Basillariophyta estuvieron presentes en todas las zonas de muestreo, tanto en superficie y fondo. En superficie (Figura 8a) sobresalieron los géneros *Mougeotia sp.* con 2219 ind/ml (Juli), *Ulothrix sp.* 608 ind/ml (Ramis) y *Oocystis sp.* 140 Ind/ml (Juli). Las Basillariophytas fueron el segundo grupo dominante, en superficie predominó el género *Fragilaria sp.* con 1288 Ind/ml (Ramis). Las concentraciones planctónicas de fondo estuvieron representadas por los mismos grupos encontrados en superficie, predominando los géneros *Mougeotia sp.*, *Ulothrix sp.* y *Oocystis sp.* (Figura 8b). Sin embargo la capa superficial presentó mayores densidades de especies que la zona de fondo, Juli está representado por la mayor concentración de *Mougeotia sp.* tanto en superficie como en fondo.

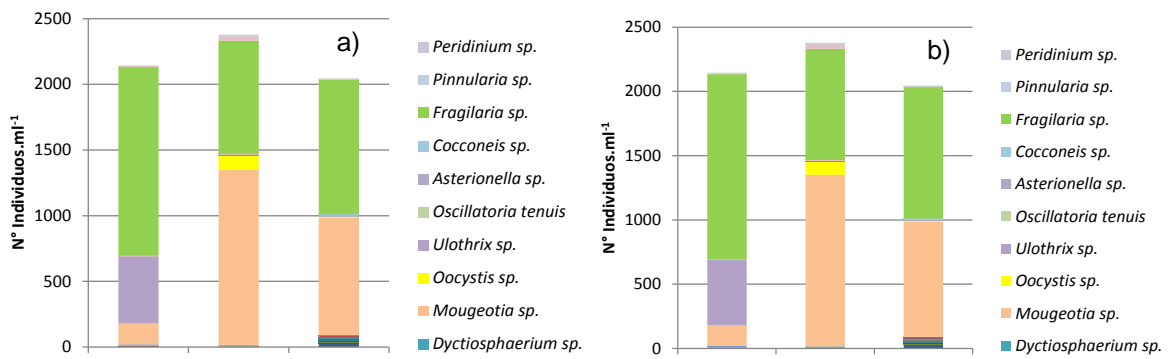


Figura 8. Distribución espacial de número de especies de la comunidad fitoplanctónica en a) superficie y b) fondo, marzo 2010.

Los géneros que presentaron mayor abundancia se caracterizan por habitar diversos ambientes, *Ulothrix sp.*, es una especie considerada como betamesoaprobio 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-Wiener de hasta 2 bits/ind. (Figura 9). 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.

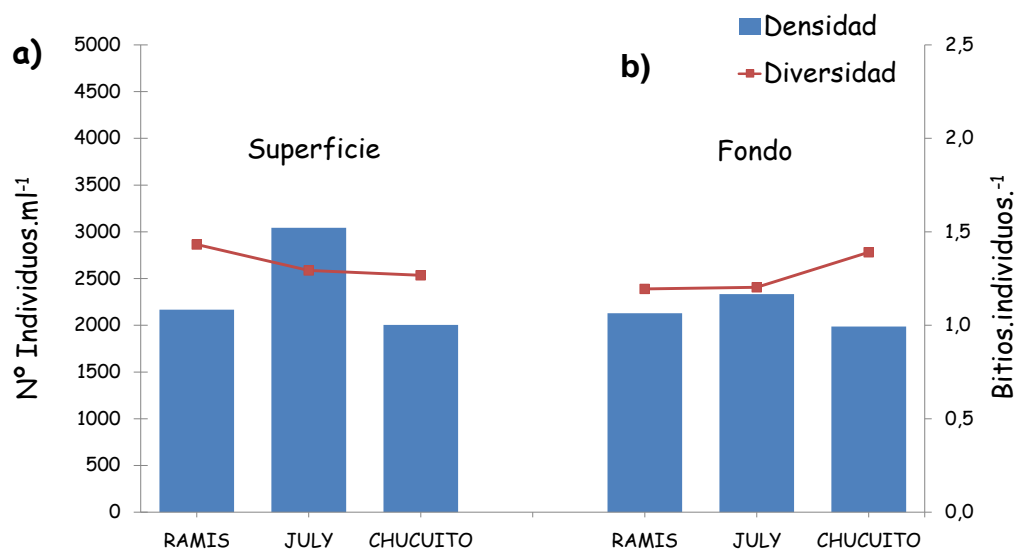


Figura 9. Variación de los parámetros comunitarios: densidad y diversidad de Shannon-Wiener en a) superficie y b) fondo

## LOGROS

- Se cuenta con información de las condiciones fisicoquímicas y biológicas en tres zonas de importancia acuícola y pesquera, que sirvan como base para el ordenamiento pesquero y acuícola del lago Titicaca. Se ha generado conocimiento de la ecológica de la zona litoral de lago Titicaca.

## RESULTADOS: EVOLUCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ACUÁTICA EN EL LAGO TITICACA Y PRINCIPALES AFLUENTE

Durante marzo y noviembre 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 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 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 m<sup>2</sup>. y preservados en recipientes apropiados para su transporte al laboratorio. 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 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 Yunguyo 0,55 mg/L; bahía Desaguadero 0,69 mg/L y río Desaguadero (efluente del Titicaca) 0,83 mg/L. 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*.

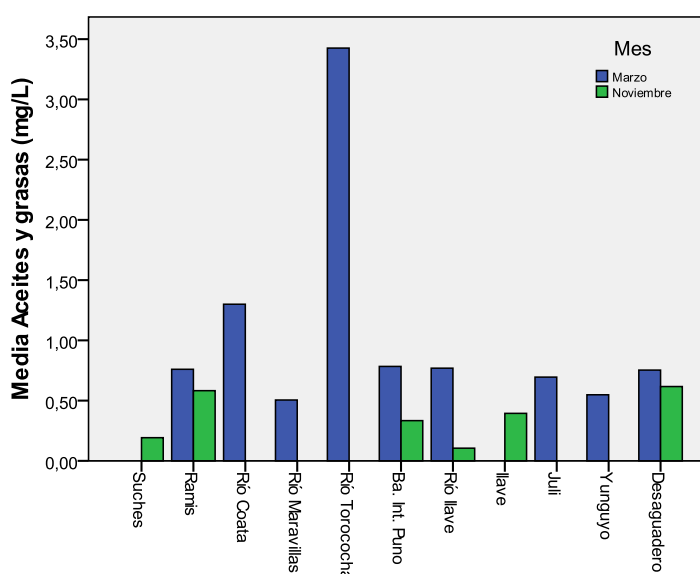


Figura 2.- Concentración de aceites y grasas en agua superficial encontrados en marzo y noviembre de 2010.

Mientras que la concentración promedio de sulfuros de hidrógeno ( $H_2S-S_2$ ) 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. 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.

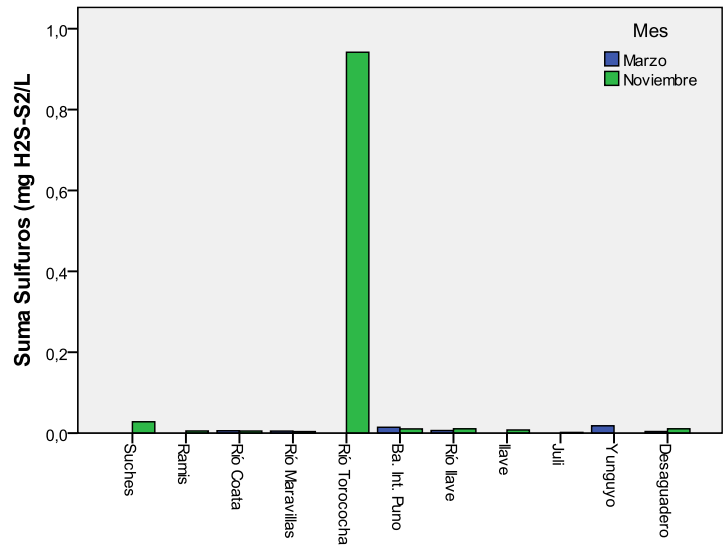


Figura 3.- Concentración sulfuros de hidrogeno en agua superficial encontrados en marzo y noviembre de 2010.

La concentración promedio de hidrocarburos de petróleo (HATD) para marzo en la bahía interior de Puno fue de 2,25  $\mu$ g/L; en la bahía de Yunguyo: 0,06  $\mu$ g/L y la bahía de Desaguadero: 0,06  $\mu$ g/L. Mientras que en Noviembre en la bahía interior de Puno fue de 0,35  $\mu$ g/L; río llave 0,08  $\mu$ g/L; desembocadura del río llave 0,12  $\mu$ g/L y en Desaguadero 3,06  $\mu$ g/L. 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.

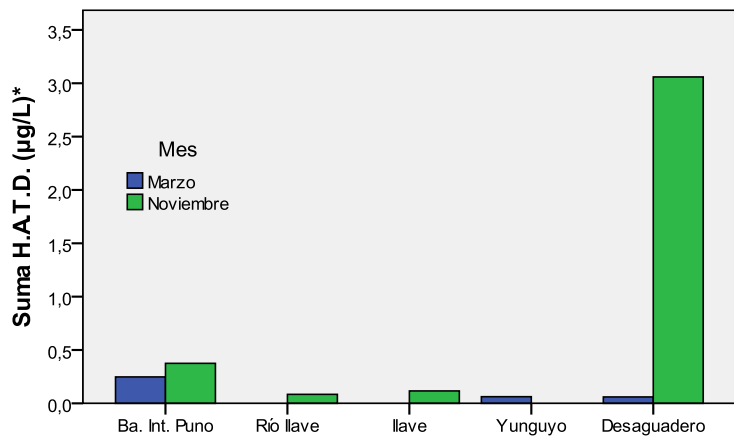


Figura 4.- Concentración de hidrocarburos de petróleo en agua superficial encontrados en marzo y noviembre de 2010.

**Metales pesados en agua:** Los análisis de metales pesados en trazas en agua superficial evidenciaron que el nivel 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

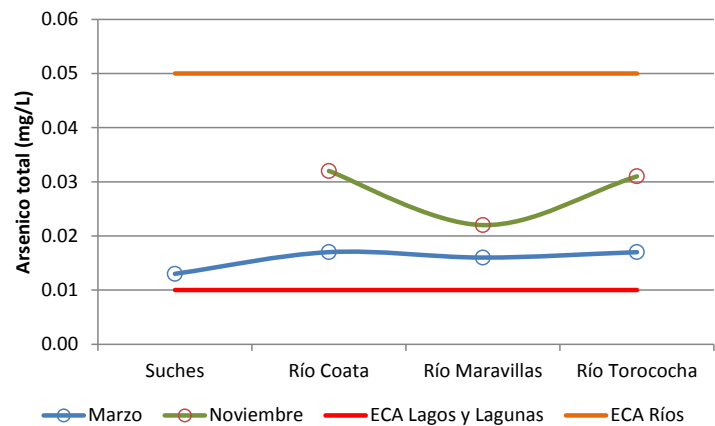


Figura 5.- Concentración de arsénico en agua superficial encontrado en marzo y noviembre de 2010.

ligeramente por encima de lo establecido en el ECA 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). 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 6). Mientras que los valores de cobre, cadmio y hierro no fueron significativos.

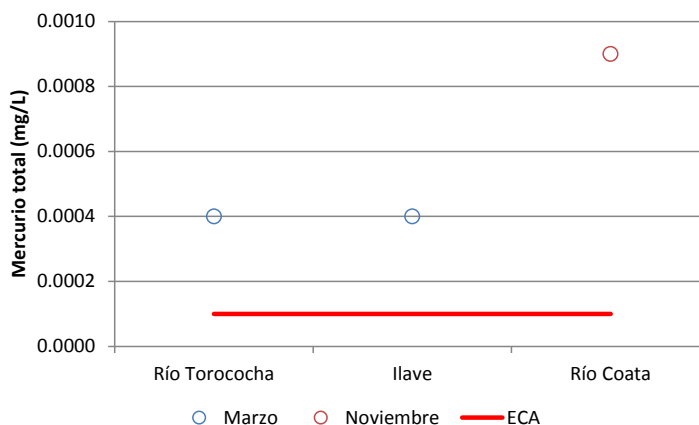


Figura 6.- Concentración de mercurio en agua superficial encontrado en marzo y noviembre de 2010.

**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 (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.

Los nivel de arsénico registrado 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 7).

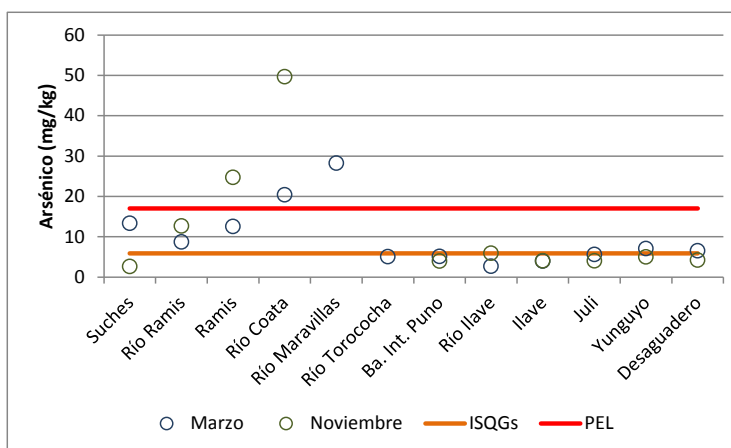


Figura 7.- Concentración de arsénico en sedimentos, encontrados en marzo y noviembre de 2010.

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 registro 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 ISQGs. Sin embargo estos valores se mantienen por

debajo del PEL (Figura 8). La estación ubicada en el río Torococha (1,24 mg/kg) fue la única que supero 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.

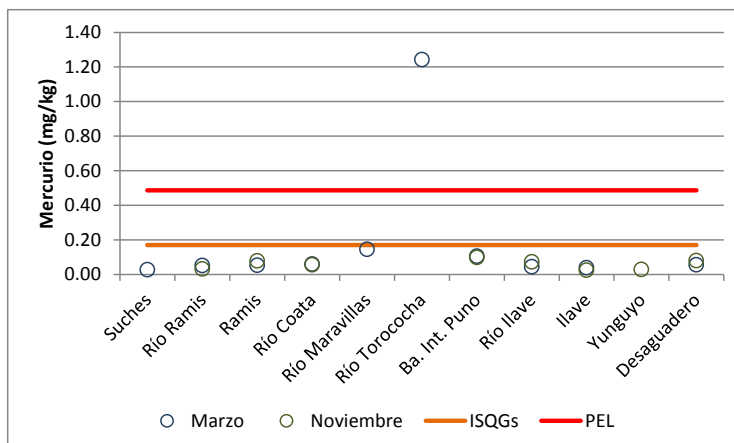


Figura 8.- Concentración de mercurio en sedimentos, encontrados en marzo y noviembre de 2010.

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 plomo es un elemento ampliamente difundido en el ambiente, al igual que el mercurio tiene la capacidad de mutilarse 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 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

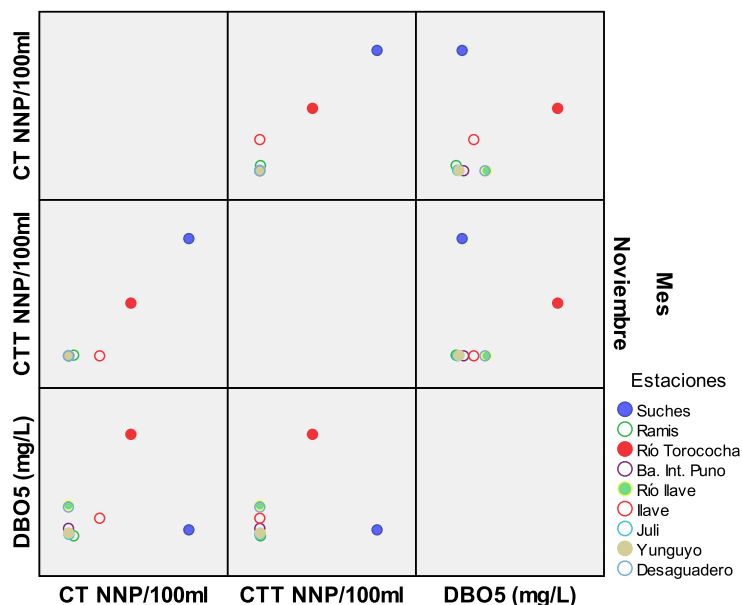


Figura 9.- Concentración de DBO<sub>5</sub>, Coliformes totales y termotolerantes, encontrados en marzo y noviembre de 2010.



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 (DBO<sub>5</sub>), 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 DBO<sub>5</sub> (21,56 mg/L).

*Comunidades zooplanctónicas.*

*Composición del zooplancton:* Durante el mes de marzo se determinaron en total 34 especies en la superficie (Figura 10a) y 08 en el fondo (Figura 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.

Para primavera (noviembre) se determinaron un total 36 taxos o especies (Figura 11a) 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)

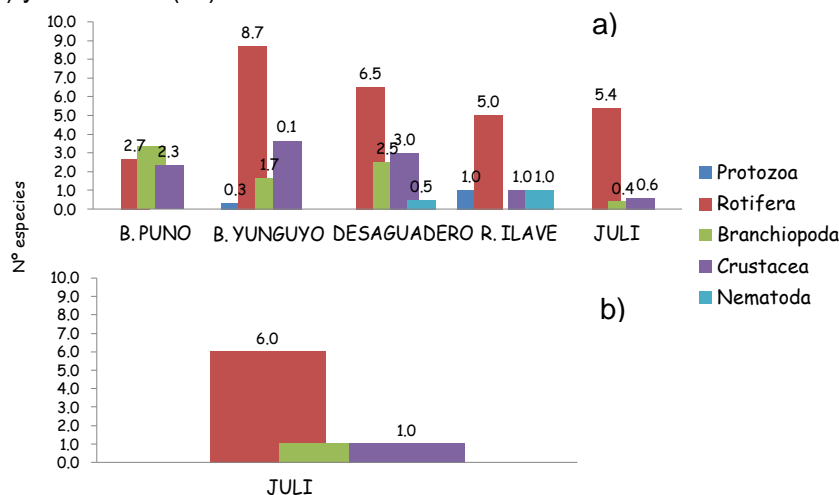


Figura 10. Distribución espacial del número de especies por grupo taxonómico de la comunidad zooplanctónica: a) superficie y b) fondo.

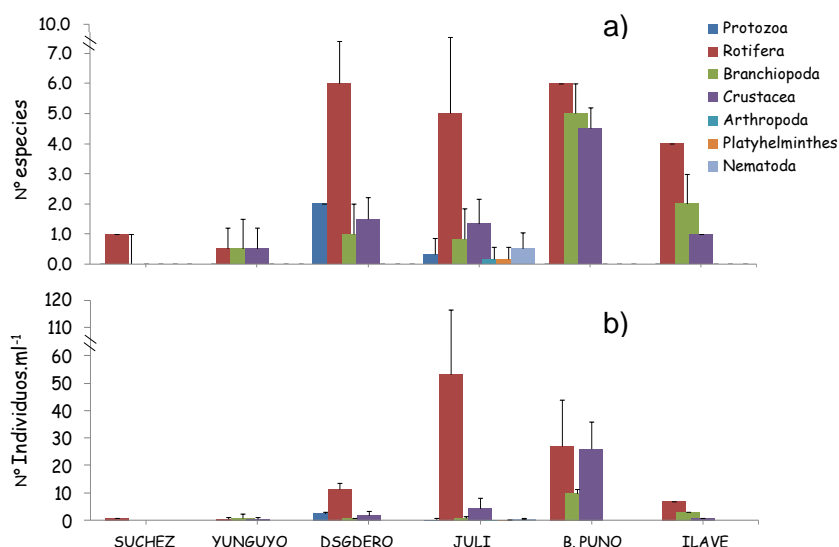


Figura 11. Distribución espacial: a) número de especies y b) abundancia por grupos taxonómicos de la comunidad zoo planctónica, noviembre 2010.

**Abundancia:** En cuanto a las abundancias para el mes de marzo, los valores fluctuaron entre  $32 \pm 22$  ind.ml<sup>-1</sup> (bahía Puno) y  $164 \pm 59$  ind.ml<sup>-1</sup> (bahía de Yunguyo) (Figura 12). Siendo el grupo más abundante los rotíferos, con promedios entre 53 ind.ml<sup>-1</sup> (Superficie) y 117 ind.ml<sup>-1</sup> (Fondo), con dominancia numérica promedio de *Polyarthra* sp (15 ind.ml<sup>-1</sup>), *Pompolix* sp (14 ind.ml<sup>-1</sup>) y *Keratella quadrata* (12 ind.ml<sup>-1</sup>) (Figura 13).

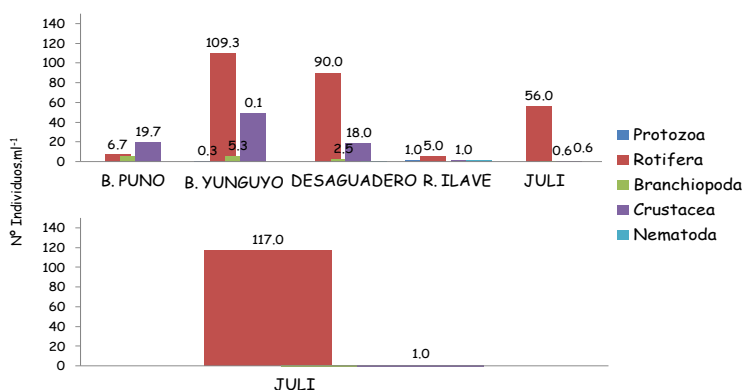


Figura 12. Distribución espacial de la abundancia por grupo taxonómico de la comunidad zooplanctónica: a) superficie y b) fondo. Marzo 2010

El zooplancton en el mes de noviembre reportó una abundancia de  $68 \pm 22$  ind.ml<sup>-1</sup>. Seguido en este caso de la zona de Juli y Desaguadero con  $60 \pm 66$  y  $17 \pm 0$  ind.ml<sup>-1</sup> respectivamente (Fig. 4). Siendo el dominante los Rotifera (Juli), seguido de los Branchiopoda-Cladóceras y Crustacea-Copepoda en bahía Puno (Fig. 2b). Así el grupo más abundante fueron los rotíferos, con dominancia numérica de *Keratella cochlearis* (210 ind.ml<sup>-1</sup>) y *Keratella quadrata* (83 ind.ml<sup>-1</sup>). Seguido de los copépodos naúplio con 88 ind.ml<sup>-1</sup> (Figura 11b).

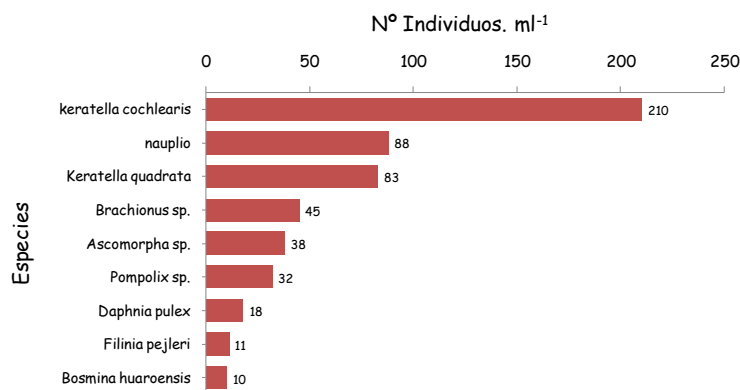


Figura 13. Abundancia relativa de las principales especies de la comunidad zooplanctónica, noviembre 2010.

**Índices de diversidad:** La riqueza de especies durante el mes de marzo (Figura 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<sup>-1</sup> (bahía de Yunguyo). Para noviembre (Figura 14b), la riqueza de especies fluctuó entre 1,0 (Suchez) y 15 (bahía Puno). Mientras que, la diversidad de Shannon (H') estuvo entre 0,0 (Suchez) y 3 bits.ind<sup>-1</sup> (bahía Puno, valores que se relacionan con la buena distribución de las especies respecto a la abundancia. La mayor diversidad reportada, estuvo asociada con una mejor distribución de las abundancias de las especies en la bahía de Yunguyo (Figura 14).

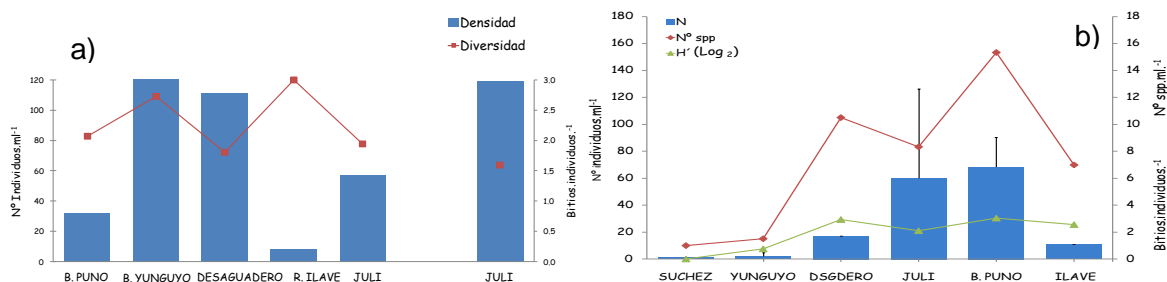


Figura 14. Distribución espacial de la abundancia y diversidad de la comunidad zooplanctónica: a) marzo y b) noviembre 2010.

**Análisis comunitario:** En el mes de marzo el análisis NMDS, se observan aun estrés de 0,09, la formación de dos grupos (Figura 15a). Un grupo 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 *Polyarthra sp*, *Pompolix sp* y *Keratella quadrata*, el segundo grupo formado por la bahía Puno, con dominancia de los copepodos en estadio de nauplio. En tanto, más alejada del resto, se encontraron los menos abundantes pertenecientes al río llave. En noviembre, en el análisis NMDS, se observan aun estrés de 0,07, 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<sup>-1</sup>), debido a la dominancia de los rotíferos del genero *Keratella*. Además de una alta diversidad por aporte de los grupos cladóceros y copépodos-Nauplio. El segundo grupo formado por puntos muestreados en Desaguadero (D1, D2), con menores abundancias y dominado numéricamente también por rotíferos pero con alta diversidad específica debido a la presencia del grupo de los ciliados del genero *Vorticella*.

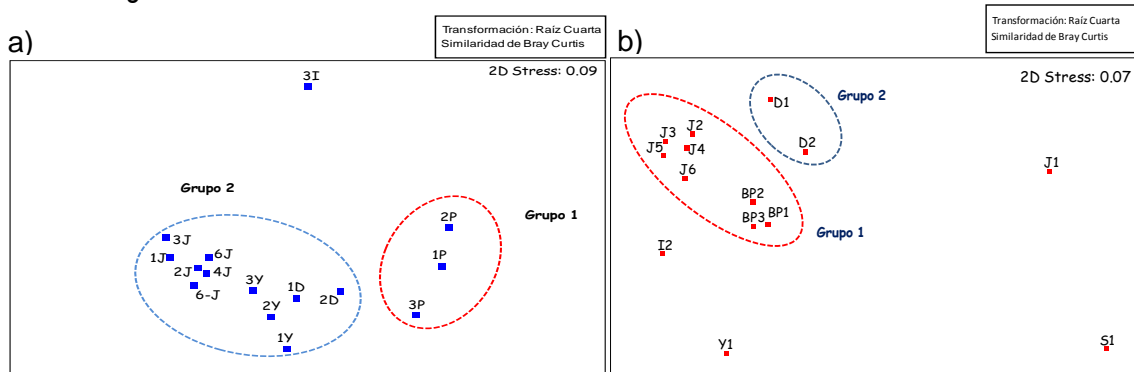


Figura 15. Análisis de escalamiento no métrico multidimensional (NMDS) de la comunidad zooplanctónica en a) marzo y b) noviembre.

■ Chlorophytas ■ Cyanophytas ■ Basillariophytas ■ Pyrrophytas

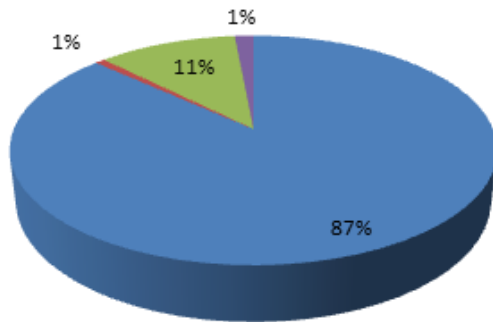


Figura16 Composición porcentual de la flora planctónica

A nivel superficial los grupos Chlorophyta, Pyrrophyta y Cyanophyta fueron los más representativos (Figura 17). Dentro de las Chlorophyta predominaron los géneros *Scenedesmus sp.* con 2290 ind/ml (Ramis) y *Oocystis sp.* 1502 Ind/ml. (bahía interior de Puno). Las Pyrrophyta estuvieron representadas por *Glenodinium sp.* con 2990

### Composición, distribución y abundancia del fitoplancton

Se registraron un total de 33 géneros en superficie, que estuvieron representados por cuatro divisiones Chlorophyta (87,9%), Bacillariophyta (11.0%), Cyanophyta y Pyrrophyta (0,2%) (Figura 16).

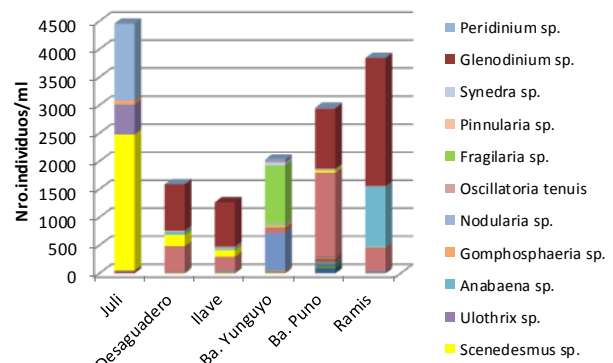


Figura 17. Distribución espacial del número de especies por grupo taxonómico de la comunidad fitoplanctónica en superficie marzo 2010.

(Ramis) y *Perdinium sp* con 1371 ind/ml (Juli), y las Cianophytas estuvieron presentadas por el genero *Anabaena sp.* (Ramis).

Los índices de diversidad de las zonas evaluadas a nivel superficial (Figura 18), presentaron valores de diversidad moderada de Shannon-Wiener 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.

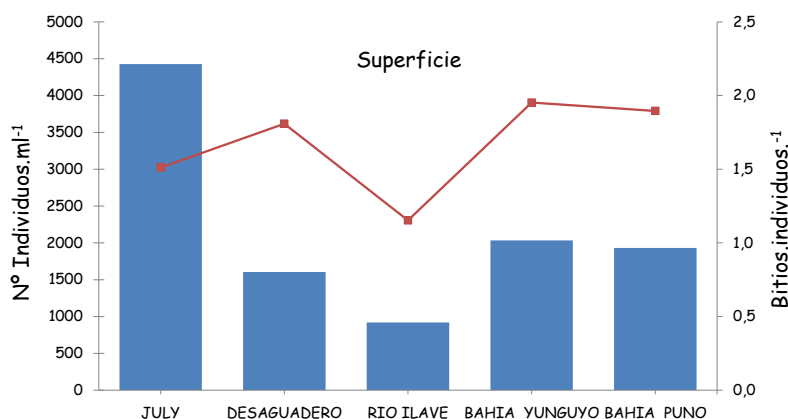


Figura 18. Variación de los parámetros comunitarios: densidad y diversidad de Shannon-Wiener a nivel superficie y fondo, en marzo 2010.

#### Comunidades bentónicas

El estado de 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 presento 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 la Tabla 1 y 2.

Tabla 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 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 *Hyallela* sp. (Amphipoda) y *Littoridina* sp. (Gastropoda). El análisis de clasificación numérica construyó grupos vinculados a cada localidad de estudio, la más abundante *Hyallela* sp., caracterizó a Yunguyo y Desaguadero. El grupo *Littoridina* sp., 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 tenemos a un 37% ente los Mollusca y 25% en Anelida y Crustacea. En Amphipoda fue importante la presencia de las especies *Hyallela* sp. (3060 Ind.m<sup>-2</sup>) y del grupo de Gastropoda a *Littoridina* sp. (360 Ind.m<sup>-2</sup>) además del bivalvo *Pisidium* sp. 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 3).

Tabla 2. Estaciones de muestreo y aplicación del índice BMWP y el ASPT. Estudio de contaminación acuática en el lago Titicaca y principales efluentes, en marzo y noviembre de 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		
Yunguyo	28-Mar	J6	16	3	5	IV	crítica	contaminada
		Y1	22	4	6	IV		
		Y2	27	5	5	IV		
Desaguadero	28-Mar	Y3	27	5	5	IV	Muy crítica	fuertemente contaminada
		D1	7	1	7	V		
		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		

**LOGROS**

- Se ha identificado las zonas de mayor contaminación en el lago Titicaca, por tipo de contaminante y las condiciones biológicas que presenta cada zona evaluada. Se ha cuantificado el grado de contaminación en función a estándares nacionales e internacionales.

**MISCELANEA**

Personal profesional del LCP, por requerimientos de algunas comunidades pesqueras circunlacustres, autoridades locales y regionales, desarrollaron actividades de difusión y extensión (capacitaciones) de las competencias y logros del LCP en la región.