



Universidad de Concepción  
Dirección de Postgrado  
Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas  
Programa de Magister en Ciencias con Mención en Pesquerías

**Fluctuaciones en el nivel de agua del Lago Titicaca y  
Precipitación en Relación con dos Pesquerías de  
Importancia Comercial en el Sector Peruano del Lago (1981-  
2010)**

RENÉ CHURA CRUZ

CONCEPCIÓN-CHILE  
2012

Profesor Guía: Luis Antonio Cubillos Santander  
Depto. de Oceanografía  
Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas  
Universidad de Concepción

## RESUMEN

El lago Titicaca es el segundo lago más grande y navegable en Sudamérica ( $15^{\circ}13.3'$ - $16^{\circ}35.6'S$ ;  $68^{\circ}33.6'$ - $70^{\circ}02.2'W$ ), con una superficie aproximado de  $8400 \text{ km}^2$  y ubicado a una altitud de 3810 m sobre el nivel del mar. El objetivo del trabajo fue determinar la relación de la variabilidad del nivel de agua del lago Titicaca y de la precipitación sobre los desembarques de la pesquería de pejerrey *Odontesthes bonariensis* e ispi *Orestias ispi* en el sector peruano del lago entre 1981 y 2010. En este estudio se estableció la relación entre las fluctuaciones de las precipitaciones y del nivel de agua del lago con las capturas del pejerrey e ispi en tres zonas del sector peruano del lago: Bahía de Puno, Zona Norte y Zona Sur. Los datos de captura fueron obtenidos de los anuarios estadísticos de la Dirección Regional de Producción de Puno y del Instituto del Mar del Perú.

Mientras, los datos del nivel de agua del lago y la precipitación fueron recopilados del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. Las estadísticas de capturas anuales de pejerrey e ispi abarcan el periodo 1981 – 2010, y los registros de capturas mensuales desde enero de 1990 a diciembre del 2010. Las relaciones entre las variables se estableció en los residuales, utilizando técnicas de regresión, autocorrelación y correlación cruzada. Una vez detectado el desfase de tiempo, se establecieron relaciones lineales para determinar el grado de explicación de los factores ambientales.

Se establece que los cambios en el nivel del agua del lago están asociados significativamente con la precipitación después de dos años, lo que implica que en la escala anual los años lluviosos determinan el aumento del nivel de agua del lago hasta dos años después. Se estableció que las fluctuaciones de la capturas del pejerrey presentaron una relación significativa con el nivel de agua del lago después de 3 años principalmente en la zona Norte y una relación no significativa con la precipitación a los 4 años. Mientras a una escala estacional los residuales de captura no muestran correlaciones significativas con el nivel de agua del lago, a excepción para la zona Norte a los 21 meses de retraso. Con la precipitación se determino una asociación a los 18 meses de retraso con un efecto inmediato para la zona Norte. La relación desfasada de tres años fue significativa para el periodo 1981 – 2004, pero para el periodo 2005 – 2010 se establece una nueva relación que

podría ser consecuencia de la disminución de la abundancia y/o productividad del pejerrey. Al parecer, la ampliación de la zona litoral por procesos de crecida del nivel de agua lago estaría más bien favoreciendo el éxito del reclutamiento principalmente por dos mecanismos: por la disponibilidad de alimento natural y mediante el refugio frente a depredadores.

Las variaciones de la captura del ispi establecen una relación negativa de 4 – 6 años de desfase con el nivel de agua del lago, con un efecto inmediato en la Bahía de Puno. Mientras con la precipitación se estableció un relación negativa de 2 a 4 años de desfase con un efecto inmediato en la zona Sur. A una escala estacional, se encontró una asociación negativa entre las capturas residuales y el nivel de agua del lago con desfase después del primer mes; y una asociación positiva a los 8 y 9 meses para las todas las zonas. Con la precipitación se estableció una asociación positiva antes de culminar el año para todas las zonas. Se establece que la relación directa de los aumentos en el nivel de agua del lago inciden negativamente sobre la disponibilidad de ispi después del primer mes, la cual se revierte 8-9 meses modulada por la migración reproductiva hacia el litoral. A su vez, al ser el ispi una especie de tamaño pequeño (<10 cm) y ciclo de vida corto, se establece que la relación negativa desfasada en 4-6 años es un efecto indirecto del aumento del nivel de agua del lago por un factor adicional asociado con el aumento de la abundancia de su predador, i.e. el pejerrey.

**Palabras clave:** Pejerrey, ispi, Lago Titicaca, nivel de agua, precipitación, regresión y correlación.

## ABSTRACT

The Titicaca lake is the second bigger and sailable lake in South America (15°13.3'-16°35.6'S, 68°33.6'-70°02.2'W), having a surface of 8400 km<sup>2</sup> and located at 3810 m above the sea level. The objective of this study was to determine the relationship of lake level on the catches of two commercially important fisheries, namely the argentine silverside *Odonthestes bonariensis* and "ispi" *Orestias ispi* in the Peruvian sector of the lake, between 1981 and 2010. The relationships between fluctuations in the lake water level and rainfall with the catches of pejerrey and ispi were established for three sectors: Puno Bay, Northern zone, and Southern zone. Catch data were obtained from annual report of the Direccion Regional de Produccion de Puno and the Instituto del Mar del Perú. The lake water level and rainfall data were collected from Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. The annual catches of pejerrey and ispi covered from 1981 to 2010, while monthly records from January 1990 to December 2010. The relationships between variables were based on residuals by using lineal regression, autocorrelation and cross-correlation techniques. Once detected significant lags, linear relationships were established to determine the explanatory degree of the environmental variables on the catches.

The changes in lake water level is significantly associated with rainfall after two years, which means that in the annual rainy years determine the increase in water level in the lake until two years later. The annual catch fluctuations of argentine silverside showed a significant relationship with the lake water level after 3 years mainly in the North, and a not significant relationship with rainfall after 4 years. At seasonal scale, catch residuals did not showed significant correlations with the lake water level except for the north at 21 months late. With the precipitation was determined with an association at 18 months late with immediate effect for the North. The lagged relationship of three years in the period 1981-2004 was significant, but for the period 2005-2010 a new relationship was established. The last could be a consequence of the depletion of abundance or productivity of pejerrey. It seems that the wider coastal zone due to the flood processes could be favoring the recruitment success of pejerrey through two mechanisms: food availability and wider refuge zone.

The catch fluctuations of ispi showed a negative relationship after 4-5 year with rainfall and lake level, with immediate effect in the Bay of Puno. At the seasonal scale, there was a one month lagged negative association between catch residuals; as well as a positive relationship after 8 and 9 months for all zones. Direct effects of increases in lake water level impacted negatively on ispi availability after one month, reverting this relationship after 8-9 month, but driven probably by a coastal reproductive migration. Ispi is a small size species (< 10 cm) and short life cycle, therefore the negative relationship lagged in 4-5 years could be an indirect effect associated with the raise of the argentine silverside by predation.

**Keywords:** Argentine silverside, ispi, Lake Titicaca, level water, rainfall, regression and correlation.



## INTRODUCCIÓN

Comprender los efectos ambientales sobre las poblaciones de peces es un desafío en la dinámica de poblaciones. En efecto, la abundancia y capturas de las poblaciones de peces e invertebrados marinos oscilan en patrones temporales complejos, desde la escala estacional hasta la interdecadal, y de más largo plazo (Pyper & Peterman 1998; Spencer & Collie 1999; Mathieu et al. 2000). Las fluctuaciones interanuales en las condiciones oceanográficas, limnográficas y atmosféricas son capaces de ocasionar importantes variaciones en el reclutamiento y en consecuencia, en la biomasa de las poblaciones de peces (Quiñones & Montes 2001; Alheit & Bakun 2010).

En el caso de los cuerpos de agua continentales, el efecto del ambiente sobre poblaciones de peces en lagos ha sido poco estudiado. En general, las fluctuaciones del nivel del agua de lagos y ríos son variables que controlan el funcionamiento de estos ecosistemas, con énfasis en los procesos de interface de la zona litoral de los recursos acuáticos (peces, plantas y plancton) y terrestres (Leira & Cantonati 2008).

La gran mayoría de los estudios realizados sobre la relación entre la abundancia-captura de recursos marinos y variables ambientales han usado técnicas de correlación y regresión (Drinkwater 1986; Drinkwater & Myers 1987; Drinkwater et al. 1991; Pyper & Peterman 1998; Montes & Quiñones 1999; Quiñones & Montes 2001; Lloret et al. 2004; Díaz & Quiñones 2008; Gatica et al. 2009; Parraga et al. 2010). Aunque estas técnicas no proveen una relación causa-efecto directa, si permiten determinar el grado asociación entre variables (Quiñones & Montes 2001) y postular hipótesis *a posteriori* sobre dicha relación (Myers 1998).

### **Biología, ecología y distribución espacial de los peces en estudio**

El pejerrey *Odontesthes bonariensis* (Valenciennes, 1835), es una especie que habita estuarios y ríos argentinos, uruguayos y del sur brasileño (Fig. 1). Su introducción al Lago Titicaca tuvo origen en el Lago Poopo – introducido en 1946 por un Club de Pesca Boliviano – y migró al lago a través del río Desaguadero en 1955 (Loubens & Osorio

1991). Presenta un tamaño asintótico de 47 cm de longitud total (LT), y con una tasa de crecimiento moderada ( $K = 0,23 \text{ año}^{-1}$ ) (IMARPE 2008; Flores 2010), lo que permite inferir que el reclutamiento al arte de pesca podría ocurrir entre 1 y 3 años de edad, y a tamaños de entre 15 y 26 cm LT, respectivamente. La talla de primera madurez sexual es a los 22.6 cm LT (IMARPE 2009). Cada hembra adulta (4 a 5 años) puede poner entre 35000 y 40000 huevos por desove, y los huevos tienen una corona de filamentos pegajosos, de modo que se aglutinan formando un racimo que se hunde y adhiere a la vegetación acuática. La eclosión de los huevos ocurre entre 20 y 30 días, y los alevines buscan refugio inmediatamente en la vegetación acuática presente (Yucra 1993; Grossman 2001). La época reproductiva principal en el Lago Titicaca se extiende desde julio a septiembre, y otra actividad secundaria desde enero a marzo (IMARPE 2009). Los adultos se alimentan preferentemente de peces (ispi), anfípodos y copépodos, mientras que los juveniles mayormente de cladóceros (Vaux et al. 1988; IMARPE 2009).



FIGURA 1. Pejerrey *Odontesthes bonariensis* (Valenciennes, 1835)

De los la prospección acústica en el 2010 se determinó que la distribución del pejerrey se localizó entre Moho y la península de Capachica en concentraciones de tipo “denso”, detectándose en mayores cardúmenes entre 20 y 40 m de la columna de agua (IMARPE 2010) (Fig. 2). En etapa juvenil tienen preferencia por la zona litoral (< 15 de profundidad) encontrándose en el cauce de los ríos Ramis e Ilave en Perú, y Suches en Bolivia, en asociación con la biota de macrófitas (totora, chara y potamogeton) (Calsina et al. 2002; Deguen et al. 2002; IMARPE 2009).

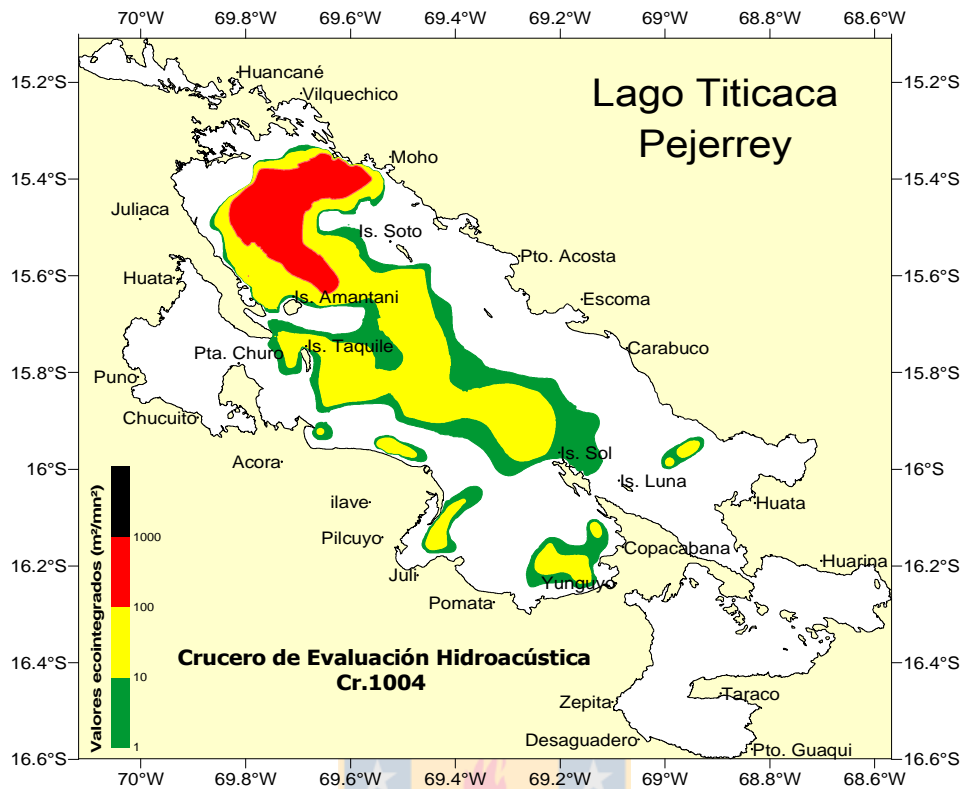


FIGURA 2. Distribución y concentración del Pejerrey *Odontesthes bonariensis* durante la prospección acústica Abril 2010 en el Lago Titicaca.

El ispi *Orestias ispi* (Lauzanne, 1981) es un pez nativo del grupo de las *Orestias* y de mayor biomasa íctica, determinando en el 2010 de 65827 t par el Lago Titicaca (IMARPE 2010) (Fig. 3). Crece a un tamaño asintótico de 10.5 cm de longitud total (LT), y con una tasa de crecimiento rápido ( $k = 0.84 \text{ año}^{-1}$ ), lo que permite inferir que el reclutamiento al arte de pesca (redes cortina) podría ocurrir entre 7 meses y 1 año de edad, y a tamaños de entre 4 y 6 cm LT, respectivamente (IMARPE 2010). La época de máxima de reproducción se da entre septiembre y octubre, y otro desove menos intenso, de marzo a abril, llegando en un desove expulsar entre 350 y 360 ovas por hembra (Paca et al. 2002; IMARPE 2009) y lo realizan entre las plantas acuáticas. Su vida sexual se caracteriza por una sucesión ininterrumpida de tandas de desove (reproducción parcial), es decir, no están sincronizados sus diferentes desoves individuales (Arteaga et al. 2002; IMARPE 2009). La talla de primera madurez sexual es de 6,3 cm de LT (IMARPE 2008). Posee una forma hidrodinámica con su cuerpo totalmente cubierto de escamas y se alimenta especialmente de copépodos, anfípodos y otros zooplankton de tamaño pequeño en los que encuentra en



sus migraciones verticales y horizontales (Vaux et al. 1988; Sáez & Blázquez 1999; Paca et al. 2002; IMARPE 2008).

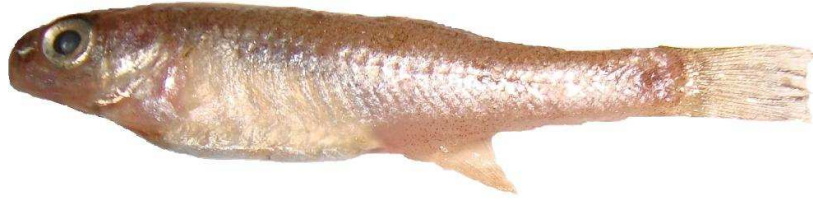


FIGURA 3. Ispi *Orestias ispi* (Lauzanne, 1981)

Habita en todo el lago con predominancia en la zona de Llachón, Islas Amantani – Taquile, desembocadura del río Ilave en Perú y en el centro del lago (Deguen et al. 2002; IMARPE 2008) (Fig. 4). En la columna de agua se distribuye hasta los 140 m, con una mayor concentración entre 10 y 40 m de profundidad (IMARPE 2010).

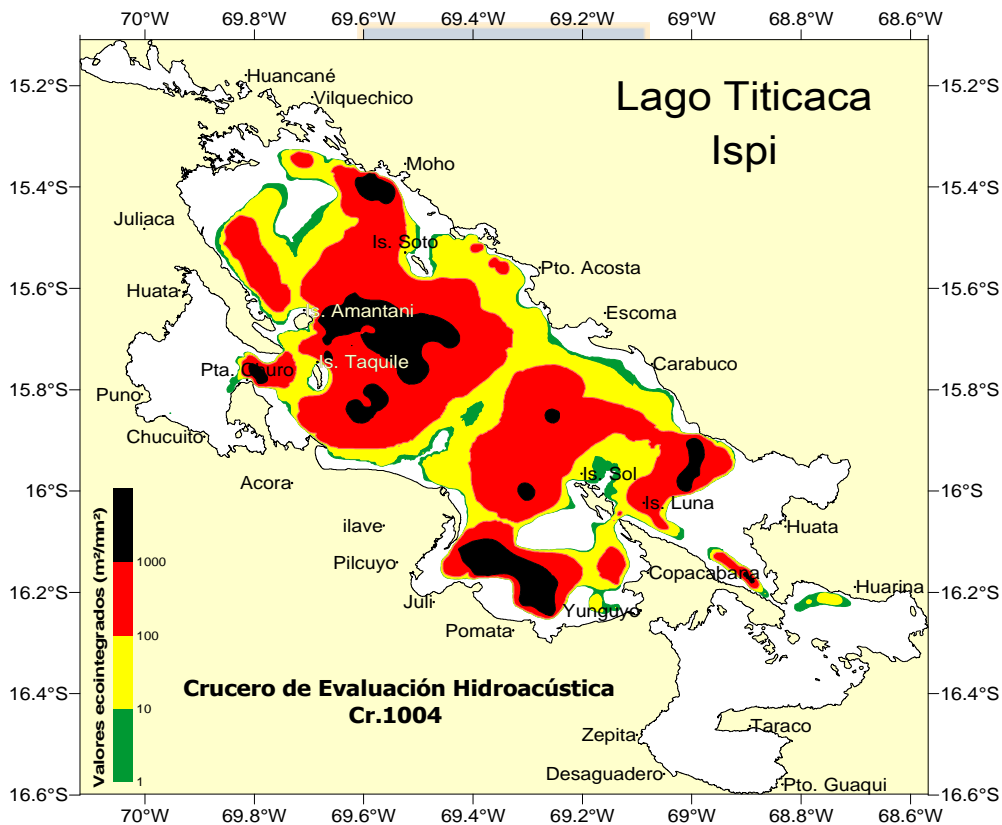


FIGURA 4. Distribución del ispi *Orestias ispi* durante la prospección acústica Abril 2010 en el Lago Titicaca.

## Características generales de la pesca en el Lago Titicaca

La actividad pesquera en el área circunlacustre es muy importante y es complementaria con la actividad agropecuaria de la región Puno (Sáez & Blázquez 1999; IMARPE 2008). Según Treviño et al (1991); Segura et al (2007), desde un punto de vista técnico y socio-económico se pueden identificar cuatro grandes tipos de pesquerías: (i) una *pesquería tradicional ribereña* de carachis, en la que participan generalmente jóvenes o mujeres utilizando la “sajaña”, que constituye una red pequeña con copo en zonas con vegetación avanzada; (ii) una *pesquería de carachis con redes agalleras*, construidas con nylon para conformar una malla fina y se utilizan para la pesca nocturna, por sobre la vegetación en los límites de las totoras, utilizando botes de madera o las tradicionales balsas de totora; (iii) una *pesquería de profundidad*, con redes agalleras de mallas superiores a 6.4 cm LM para la captura de pejerrey y la trucha, constituyéndose en la pesquería más activa del lago; y finalmente (iv), una *pesquería de ispi*, donde se utilizan redes agalleras de mallas pequeñas y con chinchorro de playa y/o bolsas .

El número de pescadores para el Lago Titicaca (sector peruano), Lagunas Arapa y Umayo para el 2006 se determinó un total de 1734 entre permanentes y eventuales, los cuales se clasifican en: (i) *permanentes*, con dedicación a la pesca más de 200 días al año; (ii) *eventuales*, entre 100 y 200 días pescando, y (iii) *esporádicos*, con 100 días de dedicación, cuya labor se asocia con ciclos agrarios (Segura et al. 2007).

Las principales especies objetivo de la pesca son el carachi e ispi, entre las especies nativas, y el pejerrey y trucha, entre las introducidas (Sáez & Blázquez 1999; IMARPE 2009). Los productos de la pesca son para autoconsumo y para la comercialización. Las especies de mayor valor comercial son destinadas al comercio, ya sea de forma directa o por medio de los intermediarios en centros o núcleos de poblaciones mayores donde se comercializan según por especies y tamaños. El 95% de las capturas de los peces del lago son consumidos en la región Puno y área próxima de Bolivia. El pejerrey tiene alta demanda en la población altiplánico, mientras el ispi es utilizado mayormente como alimento para el cultivo de la trucha (90%) y el resto como consumo huma directo. Los precios de comercialización del

pejerrey e ispi oscilan entre US\$ 5 y US\$ 0.7, respectivamente (Sáez & Blázquez 1999; IMARPE 2010)

El recurso ispi sostiene la pesquería pelágica del lago y superan grandemente al pejerrey en biomasa (Calsina et al. 2002; IMARPE 2010), entre 1981 y 2010 las capturas más altas se registraron en 1983 con 1446 t, seguidos de 1987, 1994 y 2000 con 1199, 1169 y 1180 t, respectivamente; y los mínimos entre 1981 y 1989 con 116 y 86 t, respectivamente (IMARPE 2008). Mientras el pejerrey, especie que fue introducido desde Argentina en 1950 (Deguen et al. 2002), los volúmenes de captura total para el periodo de estudio muestra una tendencia de crecimiento entre 1981 y 1990 (hasta 4350 t/año), seguido de un descenso hasta el 2010 (Fig. 5). En caso de los carachis, las fluctuaciones de la captura presentan similar tendencia que el pejerrey.

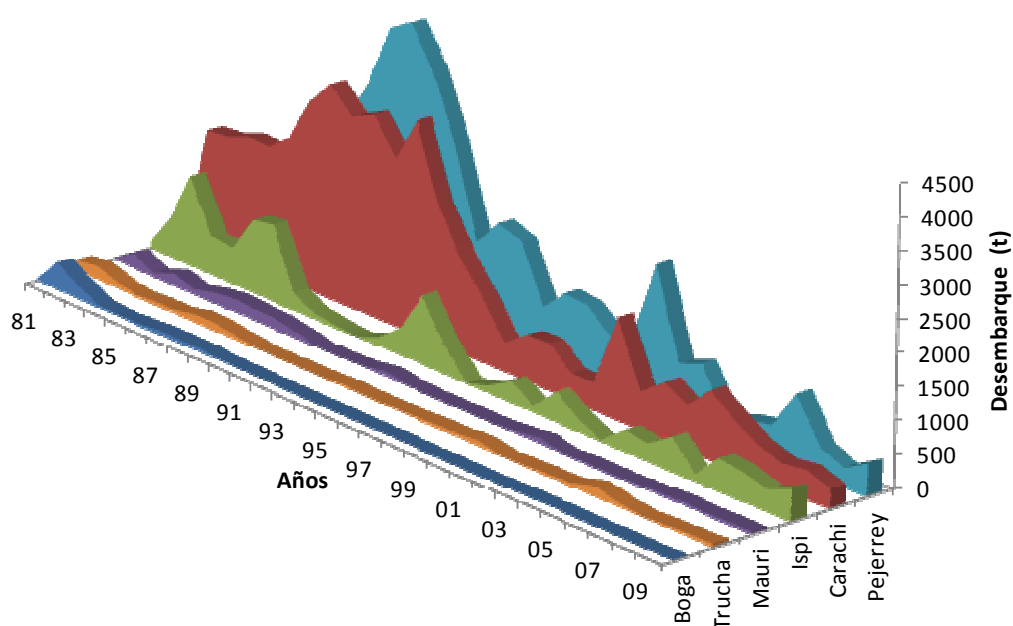


FIGURA 5. Serie de tiempo anual de desembarque de las principales ícticas del Lago Titicaca (1981 – 2010)

### Lago Titicaca y áreas de estudio

El lago Titicaca (15°13'/16°36' S, 68°34'/70°02' W) se ubica a una altitud de 3810 m sobre el nivel del mar, tiene una superficie de aproximadamente 8400 km<sup>2</sup>, un volumen de 930 km<sup>3</sup>, y se caracteriza por ser el segundo lago más grande y navegable en Sudamérica

(Hahnenberger 2003). El lago se divide en tres zonas: i) el Lago Mayor (6500 km<sup>2</sup>), que representa el cuerpo de agua más grande con la máxima profundidad del lago (284 m) y se caracteriza por presentar una zona litoral muy reducida menor a un 1 km de distancia a la costa a excepción de la zona Norte, donde se encuentra el cauce del río Ramis y la zona litoral se extiende hasta los 3 km; ii) la Bahía de Puno, con 500 km<sup>2</sup> y de las cuales 53% corresponde al área de totorales y macrófitas sumergidos, y la zona litoral puede llegar hasta los 4 km, con profundidad media de 10 y 30 m y hacia el norte desemboca el río Coata (Fig. 6). Por último, iii) el Lago Pequeño de 1400 km<sup>2</sup>, separado del Lago Grande a través del estrecho de Tiquina, y la profundidad media es de 20 a 30 m (Wirrmann 1991; Paredes & Gonfiantini 1999).

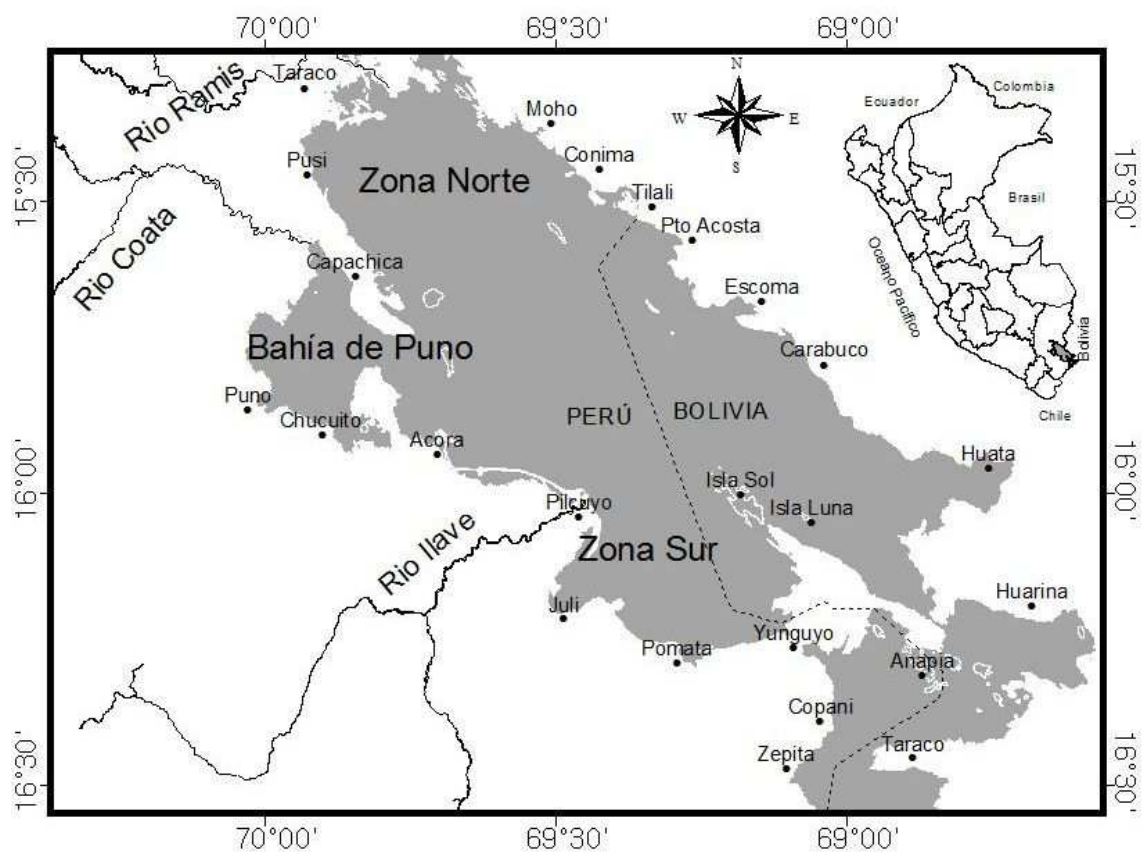


FIGURA 6. Localización geográfica del Lago Titicaca, Perú – Bolivia.

La zona Norte del lago se caracteriza por presentar una plataforma extensa de 50 m de profundidad y por esta zona desemboca el río Ramis el más importante en caudal. De los

reportes de captura del pejerrey es la zona con mayores volúmenes, principalmente en época de lluvias (IMARPE 2009).

Bahía de Puno, se caracteriza por presentar profundidades menor a los 40 m con predominancia en su entorno de “totorales” donde se los peces nativos e introducidos realizan procesos de reproducción y el desarrollo de los primeros estadios de vida. Es la segunda zona más importante en los desembarques del ispi y hacia la zona norte, desemboca el río Coata (IMARPE 2009).

La zona Sur del lago presenta una zona litoral muy reducida y con predominancia de profundidades mayores a los 80 m y en la parte media desemboca el río Ilave (tercero en importancia en caudal). El recurso ispi es la especie más desembarcada, principalmente en época reproductiva más principal, seguida del pejerrey y trucha (IMARPE 2009).

Las fluctuaciones interanuales del nivel de agua del lago Titicaca son determinadas por el balance existente entre los aportes y las pérdidas en agua, siendo en abril, el máximo nivel anual del lago, al final de periodo de lluvias y del aporte de los ríos tributarios, mientras que el mínimo ocurre en diciembre, justo antes de la época lluviosa (Roche et al. 1991; SENAMHI 2009). El aumento/disminución del nivel de agua del lago genera la ampliación/reducción de las áreas inundables, principalmente en las zonas de las desembocadura de los ríos Ramis, Coata (Bahía de Puno) y río Ilave, debido a que la topografía de la zona litoral es extensa y plana, lo que determina el desarrollo de estadios de vida temprano de peces nativos e introducidos (IMARPE 2010) y el desarrollo de actividades antrópicas como la agricultura y la ganadería (Leviel & Orlove 1990).

En tal sentido, en el Lago Titicaca se desarrolla una pesquería artesanal, principalmente sobre pejerrey e ispi, cuyas fluctuaciones de captura que estarían siendo modulados por factores ambientales. Entonces se plantea la siguiente pregunta: ¿Cómo las fluctuaciones del nivel de agua del lago y la precipitación tienen relación con la abundancia y disponibilidad del pejerrey *Odontesthes bonariensis* e ispi *Orestias ispi* en el Lago Titicaca, parte peruana entre 1981 y 2010?, y como objetivo de trabajo se propone determinar la relación de la variabilidad del nivel de agua del lago Titicaca y de la precipitación sobre los desembarques de la pesquería de pejerrey e ispi en el sector peruano del lago entre 1981 y

2010, consecuentemente se plantea la hipótesis general: “los cambios temporales del nivel de agua del Lago Titicaca y la precipitación tienen relación con la abundancia y disponibilidad del pejerrey e ispi, con consecuencias en la pesquería de ambas especies en el sector peruano del lago”. Para responder a la hipótesis, esta tesis está estructurada en dos capítulos, el primero la relación entre el nivel de agua del lago y la precipitación sobre las capturas de pejerrey, y el segundo con la relación de estas variables ambientales sobre las capturas de ispi, por zonas. Si bien el uso de datos de captura puede ser cuestionable, se demuestra que las capturas han seguido los cambios de biomasa que han sido determinados mediante prospección acústica para ambas especies.

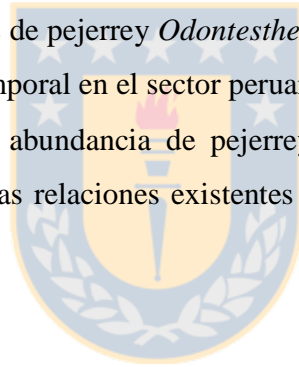


## **OBJETIVO GENERAL**

Determinar la relación de la variabilidad del nivel de agua del lago Titicaca y de la precipitación sobre los desembarques de la pesquería de pejerrey *Odontesthes bonariensis* e ispi *Orestias ispi* en el sector peruano del lago entre 1981 y 2010.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar la relación entre las capturas y los índices de abundancia acústica disponibles para pejerrey *Odontesthes bonariensis* e ispi *Orestias ispi*.
- Analizar el ciclo estacional, los cambios interanuales, tendencias, y residuales en las series de tiempo de precipitación, nivel de agua del lago y capturas de pejerrey *Odontesthes bonariensis* e ispi *Orestias ispi*.
- Determinar relaciones entre las fluctuaciones del nivel de agua del lago y de la precipitación con las capturas de pejerrey *Odontesthes bonariensis* e ispi *Orestias ispi* a diferentes escalas espacio-temporal en el sector peruano.
- Evaluar la relación entre la abundancia de pejerrey *Odontesthes bonariensis* e ispi *Orestias ispi*, considerando las relaciones existentes con la precipitación y el nivel de agua del lago.



## **HIPÓTESIS GENERAL**

Los cambios temporales del nivel de agua del Lago Titicaca y la precipitación tienen relación con la abundancia y disponibilidad del pejerrey *Odontesthes bonariensis* e ispi *Orestias ispi*, con consecuencias en la pesquería de ambas especies en el sector peruano del lago entre 1981 – 2010.

## **HIPÓTESIS DE TRABAJO**

1. Los cambios temporales en el nivel de agua del lago determinan expansión (contracción) del hábitat del pejerrey *Odontesthes bonariensis* e ispi *Orestias ispi*, con consecuencias en la magnitud de las capturas (disminución – incremento) de forma directa; y/o contrariamente, sí el efecto de los cambios en el nivel de agua del lago afecta el hábitat de desove y/o crianza entonces se espera encontrar retrasos en la relación nivel de agua del lago – captura.
2. Los cambios en la precipitación debería tener un efecto indirecto y de menor magnitud sobre las capturas de pejerrey *Odontesthes bonariensis* e ispi *Orestias ispi*, ya que se espera que las variaciones en el régimen de lluvias afectan directamente en los cambios en el nivel de agua del lago.
3. El aumento (disminución) en la abundancia y/o disponibilidad del pejerrey *Odontesthes bonariensis* se relaciona con una disminución (aumento) de la abundancia y/o disponibilidad del ispi *Orestias ispi*, a través de la predación.
4. El aumento del nivel de agua del lago determina diferencias espaciales en la magnitud de las inundaciones en la zona Norte, Sur y Bahía Puno, afectando de manera diferente la disponibilidad y abundancia de pejerrey *Odontesthes bonariensis* e ispi *Orestias ispi*.



## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio y datos

El área de estudio corresponde al sector Peruano del Lago Titicaca (Fig. 6). Con fines comparativos, los datos e información fueron agrupados en tres zonas: Norte, Sur y Bahía de Puno. Las estadísticas de capturas anuales del pejerrey e ispi corresponden al período 1981 – 2010, y mensuales desde enero de 1990 a diciembre del 2010. Estos datos se obtuvieron de los Anuarios Estadísticos de la Dirección Regional de Producción de Puno (DIREPRO PUNO) y del Instituto del Mar del Perú (IMARPE).

La data de nivel de agua del Lago Titicaca y precipitación se obtuvieron de los registros del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Se utilizó datos mensuales del nivel de agua del lago y de la precipitación con el objeto de conformar una serie de tiempo que cubra el periodo de registros de captura del pejerrey e ispi. Los datos de captura anuales están orientados a establecer las relaciones interanuales entre el nivel de agua del lago y la abundancia por zonas del lago, mientras que las series de tiempo mensuales permitirán evaluar relaciones desfasadas que den cuenta de cambios en la disponibilidad estacionales por zonas del lago.

### Las capturas de pejerrey e ispi como índice de abundancia

En este estudio se usó los registros de captura ante la ausencia de una estadística detallada del esfuerzo de pesca. Se asume que las capturas anuales están relacionadas con la abundancia, mientras que los datos mensuales de captura estarían principalmente relacionados con la disponibilidad a la pesca. Los datos de captura como índice de abundancia pueden ser cuestionados en escalas de tiempo cortas (meses), ya que pueden estar influenciado por múltiples factores tales como la disponibilidad, el esfuerzo de pesca, precios, entre otros (Fréon et al. 2008). Para validar el uso de las capturas como índice de abundancia se estableció una relación entre las capturas anuales y estimaciones de biomasa realizadas con el método hidroacústico. Los datos de biomasa acústica fueron obtenidos de los informes técnicos sobre las evaluaciones realizadas por el IMARPE. Las relaciones captura – biomasa para el pejerrey ( $r^2 = 0.85$ ;  $P = 0.05$ ) e ispi ( $r^2 = 0.51$ ;  $P = 0.05$ ) fueron

positiva y significativa (Fig. 7 y 8), demostrándose que los datos de captura anual podrían dar cuenta de cambios en abundancia.

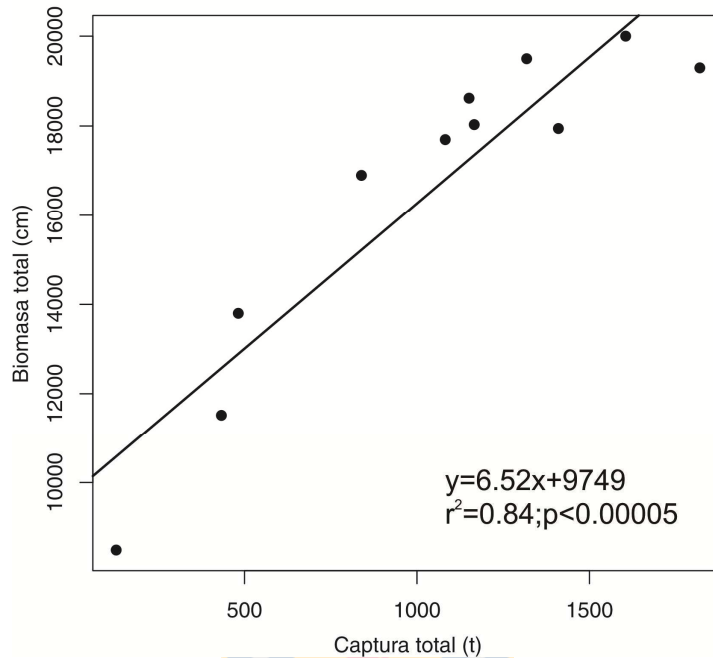


FIGURA 7. Relación entre las capturas y biomasa total anual del pejerrey *Odontesthes bonariensis* en el Lago Titicaca.

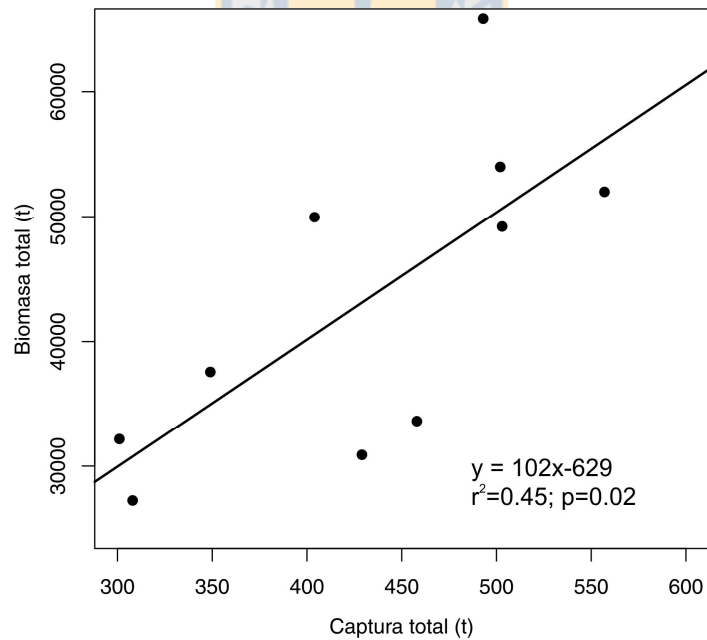


FIGURA 8. Relación entre las capturas y biomasa total anual de ispi *Orestias ispi* en el Lago Titicaca.

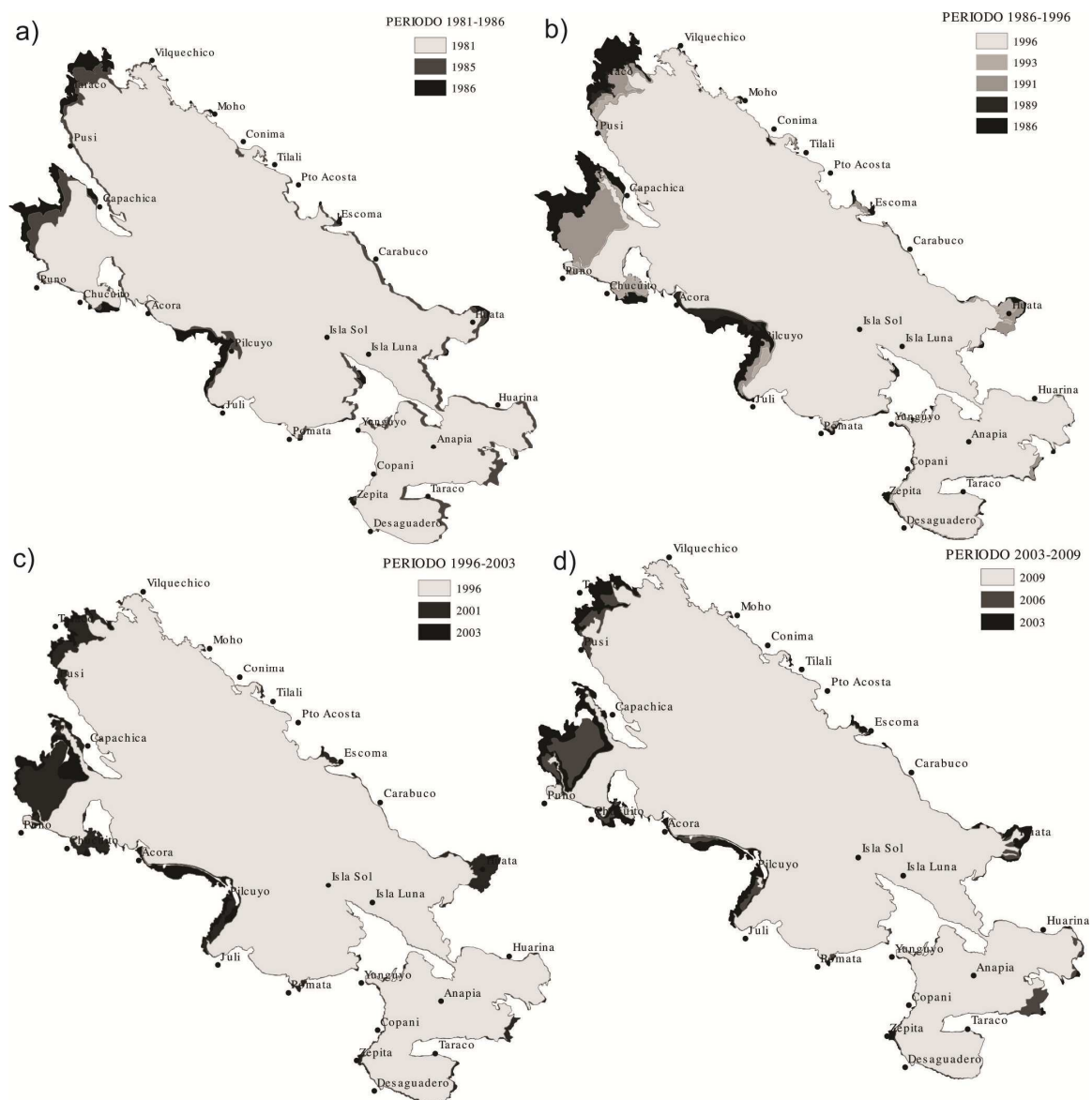


FIGURA 9. Áreas inundables en el Lago Titicaca productos de las fluctuaciones interanuales del nivel del lago a) periodo 1981-1986 b) periodo 1986-1996 c) periodo 1996 – 2003 y d) periodo 2003 – 2009

### Áreas de inundación producto de las fluctuaciones en el nivel de agua del lago

Para determinar las áreas de inundación, entre 1981 y 2010, se digitalizó imágenes satelitales Landsat 5-6 con sensores TM y ETM del National Institute for Space Research of Brazil (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>). Estas imágenes poseen siete bandas que

representan una porción del espectro electromagnético, con una resolución geométrica de las imágenes en las bandas de 30 m (cada píxel 0,09 ha). Las imágenes satelitales fueron visualizadas y georeferenciadas con el programa ArcGIS versión 9.3; y luego digitalizadas considerando el borde costero del lago en los diferentes periodos. Con los mapas digitalizados se obtuvo el área total del Lago Titicaca, las cuales sirvieron para determinar el área de inundación. El área de inundación se calculó como la diferencia del área total del año y el área del lago a la cota histórica de 85 años que corresponden a 3809.93 metros sobre el nivel del mar (msnm) equivalente a 8400 km<sup>2</sup>. Posteriormente, se correlacionó las áreas de inundación con los cambios en el nivel del lago, y la abundancia del pejerrey e ispi (Fig. 9).

### **Procedimiento estadístico**

A las series de tiempo anuales de capturas del ispi, nivel del lago, y registros pluviométricos se aplicó un promedio móvil para observar cambios en la tendencia y la influencia del componente de variación de alta frecuencia (Cubillos & Fuenzalida 1990; Montes & Quiñones 1999; Quiñones & Montes 2001).

Para establecer la relación entre las capturas anuales de pejerrey e ispi y las fluctuaciones en el nivel de agua del lago se eliminó la tendencia utilizando un modelo lineal y se calcularon residuales. Posteriormente se utilizó correlación cruzada con la finalidad de determinar el grado de desfase entre las series de tiempo. Una vez identificado el desfase temporal, se analizó el grado de la relación utilizando un modelo de regresión lineal. La función de autocorrelación (FAC) permitió detectar el grado de dependencia de las observaciones de las series de tiempo, y determinar el número de observaciones independientes disponibles.

Finalmente, con el objeto de analizar la relación estacional entre las series de tiempo, se utilizó las series de tiempo mensuales de nivel de agua del lago, precipitación y capturas. Para ello, se eliminó la tendencia y la estacionalidad de los datos utilizando la función STL (Seasonal, Trend and irregular components using LOESS) de la biblioteca STATS disponible para el programa R (R Development Core Team 2010). El procedimiento de descomposición STL se basa en suavizadores loess, y considera un algoritmo iterativo que

suaviza y mejora progresivamente las estimaciones de la tendencia y del componente estacional, siendo resistente a observaciones extremas (Cleveland et al. 1990). Se representa por la siguiente ecuación:

$$Y_i = T_i + S + R_i, \text{ donde } i = 1 \text{ a } N$$

donde  $Y_i$  es la variable de interés en el tiempo  $i$ ,  $T$  es la tendencia,  $S$  es el componente estacional, y  $R_i$  son los residuales no explicados por la tendencia ni el componente estacional. Con los residuales se calculó la función de autocorrelación (FAC) para determinar el grado de dependencia hasta un retraso máximo de 12 meses. La autocorrelación se evaluó considerando como hipótesis nula que si la secuencia se distribuye normal, independiente e idénticamente distribuida (IID), cerca del 95% de los datos deberían caer entre los límites de confianza, si más de 1 valor cae fuera de los límites se rechaza la hipótesis de que los datos son IID (Brockwell & Davis 2002). Posteriormente se utilizó una función de correlación cruzada (FCC) para detectar la dependencia entre los residuales de las series de tiempo, considerando los residuales de captura como dependientes y los residuales del nivel de agua del lago, así como los de precipitación, como independientes. El objetivo de FCC fue establecer relaciones desfasadas en la respuesta de la variable dependiente en función de cambios en las variables independientes.

## CAPTULO II:

### **LA RELACION ENTRE EL NIVEL DE AGUA EN EL LAGO TITICACA Y PRECIPITACIÓN SOBRE LAS CAPTURAS DEL PEJERREY *Odontesthes bonariensis* (VALENCIENNES, 1835) EN EL SECTOR PERUANO (1981 – 2010)**

### **THE RELATIONSHIP BETWEEN TITICACA LAKE WATER LEVEL AND ARGENTINIAN SILVERSIDE RAINFALL ON THE CATCHES OF *Odontesthes bonariensis* (VALENCIENNES, 1835) IN THE PERUVIAN SECTOR (1981-2010)**

RENÉ CHURA-CRUZ<sup>1,3,\*</sup>, LUIS A. CUBILLOS<sup>2</sup>, JORGE TAM<sup>3</sup> & MARCELIANO SEGURA<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Programa de Magíster en Ciencias con Mención en Pesquerías, Universidad de Concepción, Concepción, Chile

<sup>2</sup>Departamento de Oceanografía, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción, Concepción, Chile

<sup>3</sup>Centro de Investigaciones en Modelado Oceanográfico y Biológico Pesquero, Instituto del Mar del Perú – IMARPE

<sup>4</sup>Laboratorio Continental de Puno, Instituto del Mar del Perú - IMARPE

\* Autor correspondiente: [rchurac@udec.cl](mailto:rchurac@udec.cl)

Artículo enviado a: Revista Chilena de Historia Natural

Manuscrito suministrado corresponde al N° RCHN 11-109 y su estado actual es en revisión.

## RESUMEN

El lago Titicaca es el segundo lago más grande y navegable en Sudamérica ( $15^{\circ}13.3'$ - $16^{\circ}35.6'S$ ;  $68^{\circ}33.6'$ - $70^{\circ}02.2'W$ ), con una superficie aproximadamente de  $8400 \text{ km}^2$  y localizado a una altitud de 3810 m sobre el nivel del mar. El objetivo del trabajo fue determinar la relación de la variabilidad del nivel de agua del lago Titicaca y de la precipitación sobre los desembarques de la pesquería de pejerrey *Odontesthes bonariensis* en el sector peruano del lago entre 1981 y 2010. Los datos de captura fueron obtenidos de los Anuarios Estadísticos de la Dirección Regional de Pesquería de Puno y del Instituto del Mar del Perú. Las estadísticas de capturas anuales de pejerrey cubrieron el periodo 1981 – 2010 y mensuales desde enero de 1990 a diciembre del 2010. El nivel de agua del lago y la precipitación fueron recopilados del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. Para las series anuales se eliminó la tendencia utilizando un modelo lineal y se calculó los residuales, mientras las series mensuales fueron descompuestas para eliminar la tendencia interanual y la estacionalidad. La relación entre las variables se basó en los residuales, utilizando técnicas de regresión, autocorrelación y correlación cruzada. Se determinó que las capturas del pejerrey presentaron una relación significativa con el nivel del lago después de tres años y una relación no significativa con la precipitación a los cuatro años. Los residuales mensuales de capturas no mostraron correlaciones significativas con el nivel de agua del lago, pero sí con la precipitación con 18 meses de desfase. De la relación desfasada de tres años en el periodo 1981-2004, se encontró una relación significativa, y que esta relación se deteriora para el periodo 2005 – 2010, por lo que se establece que el cambio en la relación sería consecuencia en la disminución de la abundancia y/o productividad del pejerrey. La ampliación de la zona litoral por procesos de crecida del nivel de agua del lago favorecería el éxito del reclutamiento del pejerrey principalmente por dos mecanismos: por la disponibilidad de alimento natural y refugio frente a depredadores

Palabras Claves: Pejerrey, Lago Titicaca, nivel de agua, precipitación, regresión, correlación.

## ABSTRACT

The Lake Titicaca is the second biggest and navigable lake in South America ( $15^{\circ}13.3' - 16^{\circ}35.6'S$ ;  $68^{\circ}33.6' - 70^{\circ}02.2'W$ ), with a surface of 8400 km<sup>2</sup> and located at an altitude of 3810 m above sea level. The objective of this work was to determine the relationship between fluctuations in the lake level water and rainfall with the captures of argentine silverside *Odontesthes bonariensis* in the Peruvian sector of the lake, between 1981 and 2010. The catch data were obtained from Anuarios Estadísticos de la Dirección Regional de Pesquería de Puno and from Instituto del Mar del Perú. The annual catch records of pejerrey covered the period 1981 – 2010 and monthly catch data covered from January 1990 to December 2010. The lake water level and precipitation data were obtained from Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. To the annual time series, the linear trend was removed and residuals were calculated; while the monthly time series were decomposed to eliminate the annual trend and seasonality. All the relationships between variables were based on residuals by using regression techniques, autocorrelation and cross-correlation functions. It was determined that the captures of argentine silverside presented a significant relationship with the lake level after three years. The relationship with rainfall was not significant, but weak after four years. The monthly catch residuals were not correlated with the lake level, excepting with precipitation residuals at 18 months lag. From the lagged relationship at three years lagged in the period 1981-2004, it was found a significant linear relationship, but this relationship was deteriorated when the most recent period (2005 – 2010) was included. It is establish that this change in the relationship would be due to the reduced abundance and/or productivity of pejerrey. The expansion of the coastal zone by processes associated with lake water level rise would be favoring the recruitment success of argentine silverside through two main mechanisms: natural food availability and refuge against predators.

Word key: Pejerrey, Lake Titicaca, level water, precipitation, regression, correlation.



## INTRODUCCIÓN

La captura de los stocks de peces e invertebrados marinos fluctúan en patrones temporales complejos, con una variabilidad en escala de tiempo estacional, interanual, interdecadal y de más largo plazo (Pyper & Peterman 1998, Spencer & Collie 1999, Mathieu et al. 2000, Alheit & Bakun 2010). Las variaciones interanuales en las condiciones oceanográficas, limnográficas y atmosféricas son capaces de producir importantes fluctuaciones en el reclutamiento de peces y, en consecuencia, en la biomasa de las poblaciones (Quiñones & Montes 2001, Alheit & Bakun 2010).

En aguas continentales, el efecto del ambiente sobre las poblaciones de peces ha sido poco estudiado. Las fluctuaciones del nivel del agua de los lagos y ríos, se caracterizan por su frecuencia y duración, y constituyen el forzante principal que controla el funcionamiento de estos ecosistemas, con énfasis en los procesos de interface de la zona litoral de los recursos acuáticos (peces, plantas y plancton) y terrestres (Leira & Cantonati 2008). Allen et al. (2003) encontraron una relación positiva entre el nivel del Lago Tarpon (USA) y el reclutamiento de la perca americana *Micropterus salmoides*, y una relación negativa entre el nivel del lago y el recurso black crapie *Pomoxis nigromaculatus*. Asimismo, Price et al. (2003) encontraron que a temperaturas menores de 14 °C se determinó una mayor disponibilidad del recurso lake whitefish *Coregonus clupeaformis* a la pesca.

La gran mayoría de los estudios realizados sobre la relación entre la abundancia-captura de recursos marinos y variables ambientales ha sido detectadas mediante el análisis de correlación y regresión (Drinkwater 1986; Drinkwater & Myers 1987, Drinkwater et al. 1991, Pyper & Peterman 1998, Montes & Quiñones 1999, Quiñones & Montes 2001, Lloret et al. 2004, Díaz & Quiñones 2008, Gatica et al. 2009, Parraga et al. 2010). Aunque esta técnica no puede proveer una relación causa-efecto directa, permite determinar el grado de asociación entre variables (Quiñones & Montes 2001), y postular hipótesis a posteriori sobre dicha relación (Myers 1998).

El lago Titicaca es el segundo lago más grande y navegable de Sudamérica (15°13'-16°36' S, 68°34'-70°02' W) con una superficie de aproximadamente 8400 km<sup>2</sup>, y un volumen de 930 km<sup>3</sup> y localizado a una altitud de 3810 m sobre el nivel del mar (Hahnenberger 2003).

Comprende dos cuencas, una conocida como el Lago Mayor (6500 km<sup>2</sup>), donde se encuentra la máxima profundidad (284 m); y la segunda, como el Lago Pequeño (1400 km<sup>2</sup>) que cubre 16% de la superficie total, con una profundidad media entre 20 y 30 m, y está conectado al Lago Mayor a través del estrecho de Tiquina (Fig. 1) Una tercera región está representada por la Bahía de Puno, con 500 km<sup>2</sup> (Paredes & Gonfiantini 1999).

Dentro de las características físico-químicas del lago, la temperatura superficial fluctúa entre 11.2 (agosto) y 14.4 °C (marzo) y por debajo de los 100 m de la columna de agua la temperatura varía entre 10 y 12 °C (Iltis et al. 1991, IMARPE 2007). El oxígeno disuelto en la superficie es de 7 mg l<sup>-1</sup>, disminuye con la profundidad y varía según la época de año (IMARPE 2007). El pH promedio es de 8.6 en superficie y puede llegar a 8.7 en zonas de alta producción fotosintética. La conductividad eléctrica varía entre 1300 y 1500 µS cm<sup>-1</sup>. Además, las aguas del lago son cloro-sulfatadas sódicas con concentración de cloro (260 mg l<sup>-1</sup>), sulfatos (284 mg l<sup>-1</sup>), calcio (66 mg l<sup>-1</sup>), magnesio (34 mg l<sup>-1</sup>) y sodio (179 mg l<sup>-1</sup>) (PELT 1994, Sáez & Blázquez 1999, IMARPE 2007). El nitrato fluctúa entre 0.06 y 0.24 mg l<sup>-1</sup>, el fósforo de 0.007 a 0.023 mg l<sup>-1</sup> en la zona pelágica y de 0.16 a 0.65 mg l<sup>-1</sup> en la zona profunda (Richerson et al. 1977, IMARPE 2007). La transparencia del lago varía entre 2.6 y 15 m (IMARPE 2007).

El rol de la precipitación en el Lago Titicaca es fundamental, es modulada por la topografía y las variaciones en la reflectividad de la superficie (Garreaud & Aceituno 2001). La precipitación provee el 55% del agua hacia el lago (Paredes & Gonfiantini 1999). Las fluctuaciones interanuales de la precipitación sobre el Altiplano, se extienden a lo largo de los Andes Central y Ecuatorial, y las anomalías de viento de la zona bajan sobre el margen occidental de Sudamérica tropical y Pacífico Oriental, donde muestra una relación con la zona Este/húmedo y Oeste/seco. Las anomalías de circulación son un balance geostrofico con los cambios en la baroclinicidad meridional causado por anomalías de temperatura en la tropósfera tropical (Garreaud & Aceituno 2001).

El pejerrey, *Odonthestes bonariensis*, constituye la primera especie de importancia pesquera en el Lago Titicaca. El pejerrey es una especie que habita estuarios y ríos argentinos, uruguayos y del sur brasileño. Su introducción al Lago Titicaca tuvo origen en

el Lago Poopo – introducido en 1946 por un Club de Pesca Boliviano – y migró al lago a través del río Desaguadero en 1955 (Loubens & Osorio 1991).

El pejerrey crece a un tamaño asintótico de 47 cm de longitud total (LT), y con una tasa de crecimiento moderada ( $K = 0,23 \text{ año}^{-1}$ ) (IMARPE 2008; Flores 2010), lo que permite inferir que el reclutamiento al arte de pesca podría ocurrir entre 1 y 3 años de edad, y a tamaños de entre 15 y 26 cm LT, respectivamente. Es una especie de hábitos pelágicos en su fase adulta, mientras que los juveniles se distribuyen preferentemente en la zona litoral (<15 m de profundidad), en el cauce de los ríos Ramis e Ilave en Perú, y Suches en Bolivia, en asociación con la biota de macrófitas (totora, chara y potamogeton) (Calsina et al. 2002; Deguen et al. 2002; IMARPE 2009). En etapa adulta se alimentan de peces como el ispi, anfípodos y copépodos; mientras que en etapa juvenil consume mayoritariamente cladóceros (Vaux et al. 1988; IMARPE 2009).

La época reproductiva principal del pejerrey en el Lago Titicaca se extiende desde julio a septiembre, y otra actividad secundaria desde enero a marzo (IMARPE 2009). Cada hembra adulta (4 a 5 años) puede poner entre 35000 y 40000 huevos por desove, y los huevos tienen una corona de filamentos pegajosos, de modo que se aglutinan formando un racimo que se hunde y adhiere a la vegetación acuática. La eclosión de los huevos ocurre entre 20 y 30 días, y los alevines buscan refugio inmediatamente en la vegetación acuática presente (Yucra 1993; Grossman 2001).

El objetivo de este trabajo fue determinar la relación de la variabilidad del nivel de agua del lago Titicaca y de la precipitación sobre los desembarques de la pesquería de pejerrey *Odontesthes bonariensis* en el sector peruano del lago entre 1981 y 2010, considerando la siguiente hipótesis: los cambios temporales del nivel de agua del Lago Titicaca y la precipitación tienen relación con la abundancia y disponibilidad del pejerrey, con consecuencias en las capturas en el sector peruano del lago.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio y datos

El área de estudio corresponde al sector Peruano del Lago Titicaca, lo que da cuenta del Lago Mayor (Fig. 1), con Puno como el centro de desembarques. Las estadísticas de capturas anuales de pejerrey cubren el período 1981 – 2010, y mensuales desde enero de 1990 a diciembre de 2010. Estos datos se obtuvieron de los Anuarios Estadísticos de la Dirección Regional de Producción de Puno (DIREPRO PUNO) y del Instituto del Mar del Perú (IMARPE).

Los datos del nivel de agua del Lago Titicaca y precipitación se obtuvieron de los registros del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Se utilizó datos mensuales del nivel de agua del lago y de la precipitación con el objeto de conformar una serie de tiempo que cubra el periodo de registros de captura de pejerrey. En relación con la especie objetivo de estudio, el pejerrey (*Odontesthes bonariensis*) representó para el período 1981 y 2010 un 43.4% del total capturado, equivalente a 46178 t (Tabla 1), siendo la especie más capturada de un total de once especies del Lago Titicaca. De los reportes del IMARPE entre 2007 y 2010, el pejerrey fue capturado, principalmente con redes cortina (90%, 15 – 40 cm LT), seguido del espinel (8%, 20 – 30 cm LT) y chinchorro de playa (4 – 12 cm LT).

Los datos de captura anuales están orientados a establecer las relaciones interanuales entre el nivel de agua del lago y la abundancia, mientras que las series de tiempo mensuales permitirán evaluar relaciones desfasadas que den cuenta de cambios en la disponibilidad estacional.

### Las capturas como índice de abundancia

Los datos de captura como índice de abundancia pueden ser cuestionados en escalas de tiempo cortas (meses), ya que pueden estar determinadas por múltiples factores tales como la disponibilidad, el esfuerzo de pesca, precios, entre otros (Fréon et al. 2008). En este estudio se usó los registros de captura ante la ausencia de una estadística

detallada del esfuerzo de pesca. Se asume que las capturas anuales están relacionadas con la abundancia, mientras que los datos mensuales de captura estarían principalmente relacionados con la disponibilidad a la pesca. Para validar el uso de las capturas como índice de abundancia se estableció una relación entre las capturas anuales y estimaciones de biomasa realizadas con el método hidroacústico. Los datos de biomasa acústica fueron obtenidos de los informes técnicos sobre las evaluaciones realizadas por el Instituto del Mar del Perú. La relación fue lineal y significativa ( $r^2 = 0.88$ ;  $P = 0.05$ , Fig. 2), demostrándose que los datos de captura anual podrían dar cuenta de cambios en abundancia.

### **Áreas de inundación producto de las fluctuaciones en el nivel de agua del lago**

Con el objeto de determinar las áreas de inundación, entre 1981 y 2010, se digitalizó imágenes satelitales LANDSAT 5-6 con sensores TM y ETM del National Institute for Space Research of Brazil (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>). Estas imágenes poseen siete bandas que representan una porción del espectro electromagnético, con una resolución geométrica de las imágenes en las bandas de 30 m (cada pixel 0.09 ha). Las imágenes satelitales fueron visualizadas y georeferenciadas con el programa ArcGIS versión 9.3, y luego digitalizadas considerando el borde costero del lago en los diferentes periodos. Con los mapas digitalizados se obtuvo el área total del Lago Titicaca, las cuales sirvieron para determinar el área de inundación. El área de inundación se calculó como la diferencia del área total del año y el área del lago a la cota histórica de 85 años que corresponden a 3809.93 metros sobre el nivel del mar (msnm) equivalente a 8400 km<sup>2</sup>. Posteriormente, se correlacionó las áreas de inundación con los cambios en el nivel del lago, y la abundancia del pejerrey.

### **Procedimiento estadístico**

A las series de tiempo anuales de capturas de pejerrey, nivel de agua del lago, y registros pluviométricos se aplicó un promedio móvil de tres años para observar cambios en la tendencia y la influencia del componente de variación de alta frecuencia (Cubillos & Fuenzalida 1990; Montes & Quiñones 1999; Quiñones & Montes 2001).

Para establecer la relación entre las capturas anuales de pejerrey y las fluctuaciones en el nivel de agua del lago se eliminó la tendencia utilizando un modelo lineal y se calculó los residuales. Posteriormente se utilizó correlación cruzada con la finalidad de determinar el grado de desfase entre las series de tiempo. Una vez identificado el desfase temporal, se analizó el grado de la relación utilizando un modelo de regresión lineal. La función de autocorrelación (FAC) permitió detectar el grado de dependencia de las observaciones de las series de tiempo, y determinar el número de observaciones independientes disponibles.

Finalmente, con el objeto de analizar la relación entre las series de tiempo, se utilizó las series de tiempo mensuales de nivel del lago, precipitación y capturas de pejerrey. Para ello, se eliminó la tendencia y la estacionalidad de los datos utilizando la función STL (Seasonal, Trend and irregular components using LOESS) de la biblioteca STATS disponible para el programa R (R Development Core Team 2010). El procedimiento de descomposición STL se basa en suavizadores loess, y considera un algoritmo iterativo que suaviza y mejora progresivamente las estimaciones de la tendencia y del componente estacional, siendo resistente a observaciones extremas (Cleveland et al. 1990). Se representa por la siguiente ecuación:

$$Y_i = T_i + S + R_i, \text{ donde } i = 1 \text{ a } N$$

donde  $Y_i$  es la variable de interés en el tiempo  $i$ ,  $T$  es la tendencia,  $S$  es el componente estacional, y  $R_i$  son los residuales no explicados por la tendencia ni el componente estacional. Con los residuales se calculó la función de autocorrelación (FAC) para determinar el grado de dependencia hasta un retraso máximo de 12 meses. La autocorrelación se evaluó considerando como hipótesis nula que si la secuencia se distribuye normal, independiente e idénticamente distribuida (IID), cerca del 95% de los datos deberían caer entre los límites de confianza, si más de 1 valor cae fuera de los límites se rechaza la hipótesis de que los datos son IID (Brockwell & Davis 2002). Posteriormente se utilizó una función de correlación cruzada (FCC) para detectar la dependencia entre los residuales de las series de tiempo, considerando los residuales de captura como dependientes y los residuales del nivel del lago, así como los de precipitación, como independientes. El objetivo de FCC fue establecer relaciones desfasadas en la respuesta de la variable dependiente en función de cambios en las variables independientes.

## RESULTADOS

### Fluctuaciones interanuales y relación entre series anuales

El nivel del Lago Titicaca exhibió importantes fluctuaciones en el periodo 1980-2010 (Fig. 3a), observándose un nivel máximo en 1986 (3811.83 msnm) y otro secundario en 2004 (3810.51 msnm); y registros mínimos, en 1996 (3808.51 msnm) y 2010 (3808.92 msnm). La amplitud promedio anual fue de 0.9 m, con una amplitud máxima de 1.6 m (2001) y mínimos de 0.5 m (1993).

En los registros de precipitación anual para el período 1981–2010 (Fig. 3b), se estableció que los años lluviosos fueron 1984 (1263.1 mm) y 2001 (1019.8 mm), y los periodos menos lluviosos fueron 1983 (428.8 mm) y 1992 (556.9 mm).

Los volúmenes de captura del pejerrey, entre 1981 y 2010, muestran una fase de crecimiento desde 1981 (202 t) a 1990 (4350 t), para posteriormente exhibir un descenso hasta el 2004 (Fig. 3c), y posteriormente una caída importante en el 2005. En el 2007, se observó una recuperación (1191 t), pero posteriormente la captura de pejerrey alcanza sus niveles más bajo en 2009 (68 t) y se mantiene baja en el 2010.

Se observó que los cambios en el nivel del lago están asociados significativamente con la precipitación hasta después de dos años, lo que implica que en la escala anual los años lluviosos determinan el nivel del lago hasta dos años después en forma significativa (Fig. 4a). A su vez, las capturas de pejerrey presentaron una relación significativa con los cambios en el nivel de agua del lago después de tres años (Fig. 4b), y una relación débil no significativa a los 4 años con la precipitación (Fig. 4c).

En la escala anual, el nivel del lago Titicaca presentó una estructura de autocorrelación significativa y positiva al primer ( $r = 0.83$ ,  $P < 0.05$ ) y segundo año de retraso ( $r = 0.59$ ,  $P < 0.05$ ), seguido con una correlación inversa después de ocho ( $r = -0.45$ ,  $P < 0.05$ ) y once años de retraso ( $r = -0.45$ ,  $p < 0.05$ ). Las capturas de pejerrey exhiben la misma estructura de autocorrelación que el nivel del lago, con  $r = 0.73$  ( $P < 0.05$ ) y  $r = 0.59$  ( $P < 0.05$ ) al primer y

segundo año de desfase. Por último, la serie de tiempo anual de la precipitación no mostró una estructura autocorrelacionada.

### **Series de tiempo mensuales**

Al observar las series de tiempo mensuales se observa que los cambios en el nivel del lago son de más baja frecuencia que los cambios en la precipitación y que ambas series presentan un marcado componente de fluctuación estacional (Fig. 5).

En la escala mensual, la señal estacional del nivel del lago indica que entre diciembre y abril se presenta un fuerte ascenso de las aguas producto del máximo de aportes globales de las lluvias y de los tributarios (Ríos Ramis, Coata, Ilave y Huancané). Entre mayo a diciembre se presenta el descenso debido a la ausencia de lluvias y a la fuerte evaporación que se produce en el lago (Fig. 5).

En el caso de la precipitación, se observa una señal estacional con la mayor precipitación sobre el lago desde diciembre a marzo, que corresponde al verano austral. En tanto, de mayo a junio las precipitaciones decaen prácticamente a cero (Fig. 5).

En el caso de las capturas de pejerrey, la señal estacional revela altas capturas durante la época reproductiva (agosto – setiembre) y durante la época de reclutamiento (enero – abril), con las más bajas capturas en junio (IMARPE 2009). Se destaca que solo se cuenta con registros mensuales de captura de pejerrey desde 1990, observándose una fuerte tendencia a disminuir desde 1990 a 1995, para posteriormente disminuir de una forma gradual con aumentos de poca importancia en 2001 y 2007. En estos periodos se observaron los residuales más importantes, no explicados por la tendencia ni la señal estacional.

### **Relación de corto plazo entre nivel del lago y la precipitación con capturas del pejerrey**

En la escala mensual, los residuales del nivel del lago se correlacionan significativamente con la precipitación hasta por tres meses de retraso, con un máximo a los dos meses (Fig. 6). La correlación cruzada entre los residuales del nivel del lago y de captura de pejerrey no evidenció correlaciones importantes, a excepción del efecto de la precipitación con un



retraso de 18 meses (Fig. 6). En la correlación cruzada nivel-capturas destaca la presencia de correlaciones significativas en retrasos positivos de la variable independiente y que carecen de sentido. En efecto, no es lógico establecer que las capturas están determinando incrementos en el nivel del lago después de ocho meses (Fig. 6).

### **Procesos de expansión y contracción de la zona litoral del Lago Titicaca**

Las fluctuaciones del nivel de agua del Lago Titicaca a nivel de la zona litoral determinan procesos de expansión y/o contracción. De acuerdo con Wirrmann (1991), el descenso de un metro en el nivel ocasiona una disminución de la superficie del agua de 1000 km<sup>2</sup> y la disminución del volumen de 8 km<sup>3</sup> aproximadamente. De las imágenes satelitales digitalizadas de LANDSAT entre el periodo 1981 y 2009 se determinó una relación directa entre el área de inundación con el nivel de agua del Lago Titicaca ( $r^2 = 0.95$ ;  $p < 0.0004$ ). Entre 1981 y 1999, se observó la máxima área de inundación en 1986, con 633 km<sup>2</sup> producto del máximo nivel de agua del lago registrado (3811.83 msnm). Las áreas menores ocurrieron en 1983 y 1996, con 172 y 700 km<sup>2</sup> por debajo del nivel normal, respectivamente. En años más reciente (2000 – 2009) se observó que la máxima inundación ocurrió en 2004 con 99 km<sup>2</sup> y la más baja en 2009 con 536 km<sup>2</sup>, por debajo del nivel normal (Fig. 7). Se observa que las áreas inundables tienden a ocurrir en el sector peruano del lago, principalmente en la Bahía de Puno, y las zonas Norte y Sur del lago.

### **DISCUSIÓN**

Las fluctuaciones en el nivel de agua de los lagos y la precipitación pueden influir en la productividad de las poblaciones de peces. Se ha determinado que las fluctuaciones del nivel de agua del Lago Titicaca están moduladas principalmente por los regímenes de precipitación que se presentan en la cuenca del lago (Roche et al. 1991; Paredes & Gonfiantini 1999; Garreaud & Aceituno 2001). Las fluctuaciones interanuales del nivel de agua del lago son determinadas por el balance entre los aportes y las pérdidas en agua, siendo en abril, el máximo nivel anual del lago, al final de periodo de lluvias y del aporte de los ríos tributarios, y el mínimo ocurre en diciembre, justo antes de las lluvias del año (Roche et al. 1991). En la escala interanual, la correlación cruzada indica que la precipitación influye significativamente en el nivel de agua del lago hasta después de dos

años; mientras que en el corto plazo (meses) influye durante dos a tres meses. La autocorrelación en el nivel de agua del lago corrobora que las fluctuaciones anuales que se presentan en el lago productos de las lluvias que ocurren con una mayor intensidad entre diciembre y febrero (Garreaud & Aceituno 2001).

Se observó también que el nivel del lago presenta fluctuaciones de baja frecuencia que podrían estar relacionado con las fluctuaciones El Niño-Oscilación del Sur. Según, Garreaud & Aceituno (2001), Garreaud et al. (2003), las lluvias interanuales en el altiplano están relacionadas con el índice de oscilación del sur – El Niño (ENSO), esto es explicado por el calentamiento (enfriamiento) generalizado de la troposfera tropical durante las fases negativas (positivas) del ENSO y la asociación fuerte (débil) sobre el oeste de los Andes central. Entre 1981 y 2010 en el altiplano peruano – boliviano se presentó dos eventos de El Niño muy intensos en 1982-83 y 1997-1998, los cuales coinciden con periodos de baja precipitación anual (Maldonado & Calle 1998).

No obstante, existen otros factores que modulan las fluctuaciones del nivel de agua del Lago Titicaca, tal como el aporte de los ríos y arroyos en 53%, los ríos más grandes son el Ramis, Coata, Ilave, Huancané, y Suches que ingresan al lago Grande; y el río Tiwanaco que desemboca en el lago Menor, con descargas máximas al lago entre enero a abril y el mínimo en época seca (junio – julio) (Roche et al. 1991). Asimismo, la remoción de aguas del Lago Titicaca se debe a la evaporación, que es el responsable del balance del agua y posiblemente el primero que muestra la variabilidad interanual que representa el 91% (Roche et al. 1991; Paredes & Gonfiantini 1999).

### **Efecto del nivel de agua del lago y precipitación sobre la disponibilidad del pejerrey**

Al establecer la relación entre las capturas anuales de pejerrey y el nivel de agua del lago, desfasadas en tres años (Fig. 8), se encontró que la relación es más significativa en el periodo 1981-2004, y que esta relación se deteriora al considerar las capturas de los últimos seis años (2005-2010), y que son las más bajas de la serie. Es muy factible que el cambio en la relación sea consecuencia de la importante disminución de la abundancia o de productividad de esta especie, ya que las capturas de pejerrey comenzaron a ser más bajas de lo esperado. Aparentemente, la leve recuperación de las capturas de pejerrey en 2007 y

2008 se debe al desembarque de la zona Norte (Huancané) principalmente (40,2%), lo que demuestra la virtual ausencia de pejerrey en otros sectores.

En los residuales mensuales no se encontró una asociación significativa entre el nivel de agua de lago y las capturas. Al parecer, la ampliación de la zona litoral por procesos de crecida del nivel de agua lago estaría más bien favoreciendo el éxito del reclutamiento del pejerrey principalmente por dos mecanismos: (i) por la disponibilidad de alimento natural (fitoplancton y zooplancton) y (ii) mediante el refugio frente a depredadores.

La crecida del nivel de agua del lago genera ampliación de las áreas inundables, principalmente en las zonas de la desembocadura del río Ramis, del Coata (Bahía de Puno) y del Ilave, debido a que la topografía de la zona litoral es extensa y plana (Fig. 7). Leviel & Orlove (1990) indican que cuando disminuye el nivel de agua del lago, los campesinos que habitan en la zona litoral tienden a aprovechar esta zona para realizar cultivo de tubérculos y hortalizas, para lo cual utilizan productos fertilizantes naturales que aportan de materia orgánica (estiércol), convirtiéndose en áreas ricas en nutrientes; cuando el lago recupera su nivel, el cual es aprovechado por el fitoplancton y el zooplancton, que es alimento para los alevines y juveniles del pejerrey. PRODUCE-GORE PUNO-AECID (2009) en la zona litoral del Lago Titicaca en 2008, determinaron que la densidad de fitoplancton fluctuó entre 26593 ind/m<sup>3</sup> y 30721 ind/m<sup>3</sup> representado por Chlorophytas (*Ulothrix* y *Mougeotia*); mientras en el grupo de zooplancton, las especies dominantes fueron *Bosmina huaronensis* (46%), *Boeckella titicacae* (23%), *Daphnia pulex* (17%) y *Eucyclops* sp. (14%).

Asimismo, la zona litoral actúa como una zona de refugio para los pequeños peces (alevines y juveniles) contra los peces grandes (pejerrey adulto, trucha y *Orestias* spp). Según Grossman (2001) indica que el pejerrey de tallas mayores a 35 cm LS son carnívoros con tendencia al canibalismo sobre los peces pequeños de la misma especie.

Por último, por la condiciones ambientales favorables, principalmente la temperatura del agua que en la época de reclutamiento (noviembre – marzo) fluctúa entre 16 y 20 °C (IMARPE 2009) con presencia de grandes cantidades de alevinos y juveniles en la zona litoral. IMARPE (2010) de la pesca experimental con chinchorro de playa en zona litorales

(<5 m) en diciembre del 2009 determinó presencia de pejerreyes con una amplitud de tallas de 2,5 a 12,5 cm de LT y una distribución bimodal en 4,5 cm y 9,5 cm de LT.

El Instituto del Mar del Perú, a través de la evaluación hidroacústica en 2010, determinó una biomasa de pejerrey en 8491 t; lo que representa un decremento de 57.5% respecto de lo registrado en 1985. De forma similar las capturas anuales entre 1981 y 2010 muestran una tendencia a la disminución, debido principalmente a las fluctuaciones del nivel de agua del Lago Titicaca y una sobrepesca por reclutamiento. Además, se adiciona la falta de un ordenamiento pesquero binacional entre Perú y Bolivia; y debilidad en el sector peruano en el control y cumplimiento de las normas legales vigentes por los pescadores artesanales sobre tallas mínimas de captura (>22,5 cm LT), tamaños de abertura de mallas (42.3 mm de luz de malla cortinera, Resolución Ministerial N° 271-2010-PRODUCE), vedas por reproducción y reclutamiento. Esta situación podría haber interrumpido los ciclos naturales de buenas capturas del pejerrey por efecto del nivel de agua del lago.

### **AGRADECIMIENTOS**

El autor principal agradece a los docentes del Programa de Magíster en Ciencias con Mención en Pesquerías por su apoyo en la realización del presente trabajo. Asimismo, a los colegas del Instituto del Mar del Perú – Laboratorio Continental de Puno y a la Dirección Regional de la Producción Puno. Finalmente, agradecemos los comentarios y sugerencias de los revisores anónimos de este artículo.

### **LITERATURA CITADA**

ALHEIT J, BAKUN A (2010). Population synchronies within and between ocean basins: apparent teleconnections and implications as to physical-biological linkage mechanisms. *Journal of Marine Systems*. 79:267–285.

ALLEN M, TATE W, TUGEND K, ROGERS M, DOCKENDORF K (2003). Effects of water-level fluctuations on the fisheries of lake Tarpon. *Final Report*. Department of Fisheries and Aquatic Science. The University of Florida. 55 pp.

ANTUNEZ DE MAYOLO R (1992). Recurrencia del Fenómeno “El Niño” y el Titicaca. *Paleo ENSO Record Intern. Sympo*, (Lima, March 1992).

ARTEAGA F, ZURITA G, VEGA R, MORALES S, SANTIVAÑEZ R, RAMOS A, SAAVEDRA S (2002). Desarrollo de programas de pesca artesanal en el ámbito Boliviano. *Proyecto PER/98/G-32 Conservación de la biodiversidad en la cuenca del lago Titicaca. Subcontrato 24.24*. Informe Final. ([www.pnud.bo/biodiversidadtdps/proyecto](http://www.pnud.bo/biodiversidadtdps/proyecto)).

BROCKWELL P, DAVIES R (2002). Introduction to times series and forecasting. Segunda Edición. Springer. New York. 434 pp.

CALSINA C, SALAS R, LIMACHI J, TAMB E (2001). Evaluación del potencial de especies introducidas en el ámbito Boliviano del sistema TDPS. *Proyecto PER/98/G-32 Conservación de la biodiversidad en la cuenca del lago Titicaca. Subcontrato 24.25*. Informe Final. 55 pp. ([www.pnud.bo/biodiversidadtdps/proyecto](http://www.pnud.bo/biodiversidadtdps/proyecto)).

CLEVELAND R, CLEVELAND W, MCRAE J, TERPENNING I (1990). STL: a seasonal-trend decomposition procedure based on Loess. *Journal of Official Statistics*. 6:3–73.

CUBILLOS L, FUENZALIDA R (1990). El “periodo cálido de 1976 – 1984” y sus efectos en los desembarques de algunos peces de importancia comercial de la zona norte de Chile. *Ciencia y Tecnología del Mar, CONA N° 14*. Valparaíso Chile. ISSN 0716-2006.

DEGUEN M, HUERTA R, APAZA F, VILCHERREZ J, GALVES J, MARTINEZ V (2002). Evaluación del potencial de promoción de pesca de especies introducidas. *Proyecto PER/98/G-32 Conservación de la biodiversidad en la cuenca del lago Titicaca. Subcontrato 24.25*. Informe Final. 168 pp. (URL:<http://www.pnud.bo/biodiversidadtdps/proyecto>).

DÍAZ J, QUIÑONES R (2008). Relationship of precipitation, freshwater input, and sea level height with the abundance of the white shrimp (*Litopenaeus occidentalis*; Street, 1871) off Buenaventura, eastern tropical Pacific. *Fisheries Research*. 92:148–161.

DRINKWATER K (1986). On the role of freshwater outflow on coastal marine ecosystems- a workshop summary. En: Skreslet S (ed). pp. 429-438. Springer-Verlag, Berlin.

DRINKWATER K, MYERS R (1987). Testing predictions of marine fish and shellfish landings from environmental variables. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 44:1568-1573.

DRINKWATER K, HARDING G, GAUTHIER D (1991). The relationship of Quebec lobster landing to freshwater runoff and wind Storm. pp. 179-187. In: J.-C. Theriault (ed) The Gula of St. Lawrence: small ocean or big estuary?. *Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences*. 113.

FLORES S (2010). Estimación de edad y crecimiento del pejerrey *Odontesthes bonariensis*, mediante la fórmula de Von Bertalanffy en cuatro zonas del Lago Titicaca”. Tesis, Universidad Nacional del Altiplano, Puno. 120 pp.

FRÉON P, BOUCHON M, MULLON C, GARCÍA C, ÑIQUEN M (2008). Interdecadal variability of anchoveta abundance and overcapacity of the fishery in Peru. *Progress in Oceanography*. 79:401–412.

GARRAEAUD R, VUILLE M, CLEMENTS A (2003). The climate of the Altiplano: Observed current conditions and past change mechanisms. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 3054:1-18.

GARREAUD R, ACEITUNO P (2001). Interannual Rainfall Variability over the South American Altiplano. *Journal of Climate*. 14:2279-2789.

GATICA C, QUIÑONEZ R, FIGUEROA D, WIFF R, NAVARRO E, DONOSO M (2009). Asociación entre la Corriente de Deriva de los Vientos del Oeste y la abundancia relativa del pez espada (*Xiphias gladius*) frente a la costa de Chile. *Latin American Journal of Aquatic Research*. 38:97-105.

GROSSMAN F (2001). Fundamentos Biológicos, Económicos y Sociales para una Correcta Gestión del Recurso Pejerrey. Editorial Astyanax. Buenos Aires, Argentina. 246 pp.

HAHMENBERGER M (2003). Summertime precipitation variability and atmospheric circulation over the south American Altiplano: Effects of lake Titicaca and salar de Uyuni. Oklahoma Weather Center Research Experiences for Undergraduates Program, Summer. 10 pp.

ILTIS A, CARMOUZE J, LEMOALLE J (1991). V.I. Características físico-químico del agua. In *El Lago Titicaca: Síntesis del Conocimiento Limnológico Actual*. C. Dejoux & A. Iltis (Eds). OSTOM-HISBOL, La Paz, Bolivia. 584(Cap. IV.1): 107-113.

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ (2007). Anuario Científico Tecnológico IMARPE. Enero – Diciembre. Volumen 7. ISSN 0378-7702. 168 pp.

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ (2008). Anuario Científico Tecnológico IMARPE. Enero – Diciembre. Volumen 8. ISSN 1813-2103. 176 pp.

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ (2009). Anuario Científico Tecnológico IMARPE. Enero – Diciembre. Volumen 9. ISSN 1813-2103. 182 pp.

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ (2010). Anuario Científico Tecnológico IMARPE. Enero – Diciembre. Volumen 10. ISSN 1813-213. 195 pp.

LEIRA M, CANTONATI M (2008). Effects of water-level fluctuations on lake: an annotated bibliography. *Hydrobiologia* 613:171-184.

LEVIEL D, B ORLOVE (1990). Local control of aquatic resources: Community and Ecology in Lake Titicaca, Peru. *American Anthropologist*. 92:362-382.

LLORET J, PALOMERA I, SALAT J, SOLE I (2004). Impact of freshwater input and landing of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) and sardine (*Sardina pilchardus*) in shelf water surrounding the Ebre (Ebro) River delta (north-western Mediterrean). *Fisheries Oceanography*. 13:102-110.

LOUBENS G, F OSORIO (1991). Especies introducidas: *Basilichthys bonariensis*. In *El Lago Titicaca: Síntesis del Conocimiento Limnológico Actual*. Dejoux & A. Iltis (eds). OSTOM-HISBOL, La Paz, Bolivia. 584(Cap. VI.5b): 431-449.

MALDONADO R, CALLE S (1998). Comportamiento de las precipitaciones en el sector del Lago Titicaca (Bolivia) durante “El Fenómeno El Niño”. *Bulletin de l'Institut Français d'Etudes Andines*. 27:699-707.

MATHIEU L, ALLISON E, TINCH R (2000). Seeking patterns of population variability from Fish catch and stock biomass time series. 36 pp.

MYERS R (1998). When do environment-recruit correlations work?. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 8:285-305.

MINISTERIO DE LA PRODUCCIÓN, GOBIERNO REGIONAL DE PUNO Y AGENCIA ESPAÑOLA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL PARA EL DESARROLLO (2009). “Informe final Convenio 2007: Informe de Actividades Convenio IMARPE-FONCHIP 2008-2009”. Proyecto-PROPESCA. 37 pág. (En línea)  
URL:[http://www.produce.gob.pe/RepositorioAPS/1/jer/PROPESCA\\_OTRO/actividades\\_convenios/INFORME%20final%202008-2009.pdf](http://www.produce.gob.pe/RepositorioAPS/1/jer/PROPESCA_OTRO/actividades_convenios/INFORME%20final%202008-2009.pdf) (accedido abril 2011).

MONTES R, QUIÑONES R (1999). Efecto de la pluviosidad y del caudal de los ríos Bio-Bio e Itaca sobre los desembarques de las almejas *Protothaca thaca* y *Venus antiqua* en la zona centro-sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. 72:13-30.

NOTHCOTE T (2000). Ecological interactions among an Orestiid (Pisces: Cyprinodontidae) species flock in the littoral zone of Lake Titicaca. *Advances in Ecological Research*. 31:399-420.

PAREDES M, GONFIANTINI G (1999). Lake Titicaca: historian and current studies. *Water and Environment News*. International Atomic Energy Agency. Quarterly N° 8/9, December 1999. 6-8 pp.



PARRAGA D, CUBILLOS L, CORREA M (2010). Variaciones espacio-temporal de la captura por unidad de esfuerzo en la pesquería artesanal costera del pargo rayado *Lujtanus synagris*, en el Caribe colombiano y su relación con variables ambientales. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 45:77-88.

PRICE H, POTHOVEN S, MCCORNICK M, JENSEN P, FAHNENSTIEL G (2003). Temperature influence on commercial lake whitefish harvest in eastern lake Michigan. *Journal of Great Lakes Research*. 29:296-300.

PROYECTO ESPECIAL LAGO TITICACA (PELT) & CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO AGROPESQUERO (CEIPAD) (1994). Evaluación electroacústica de los recursos pesqueros en el lago Titicaca, Crucero 9312. Puno-Lima. 33 pp.

QUIÑONES R, MONTES R (2001). Relationship between freshwater input to the coastal zone and historical landings of the benthic/demersal fish *Eleginops maclovinus* in central-south Chile. *Fisheries Oceanography*. 10:311-328.

RICHERSON P, WIDMER C, KITTEL T (1977). The limnology of lake Titicaca (Perú-Bolivia), a large high altitude tropical lake. Univ. California, Davis, Inst. Ecology, 14:78 p, multigr.

ROCHE M, BOURGES J, CORTES J, MATTOS R (1991). Climatología e Hidrología de la Cuenca de lago Titicaca. In *El Lago Titicaca: Síntesis del Conocimiento Limnológico Actual*. Dejoux & A. Iltis (eds). OSTOM-HISBOL, La Paz, Bolivia. 584(Cap. IV.1): 83-104.

SÁEZ J, BLAZQUEZ L (1999). Estudio de las actividades y mejora de las condiciones de producción acuícola en el lago Titicaca (Perú). *Proyecto de apoyo al desarrollo del sector pesquero y acuícola del Perú*. Informe Técnico II. 111 pp.

SPENCER P, COLLIE J (1999). Patterns of population variability in marine fish stocks, with application to precautionary rebuilding projections of the Georges Bank Haddock. *Proceedings, 5<sup>th</sup> NMFS NSAW*. 120-121 pp.

VAUX P, WURTSBAUGH W, TREVINO H, MARIÑO L, BUSTAMANTE E, TORRES J, RICHERSON P, ALFARO R (1988). Ecology of the Pelagic Fishes of Lake Titicaca, Perú -Bolivia. *Biotopa*. 20:220-229.

WIRRMANN D (1991). Capítulo II Morfología y Batimetría. In *El Lago Titicaca: Síntesis del conocimiento limnológico actual*. Dejoux & A. Iltis (Eds). OSTOM-HISBOL, La Paz, Bolivia. Pág. 584:31-38.

YUCRA A (1993). Reproducción Artificial del *Basilichthys bonariensis* (pejerrey). Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Biológicas. 45 pp.



## LEYENDA DE FIGURAS

### **Figura 1. Localización geográfica del Lago Titicaca, Perú – Bolivia.**

Figure 1. Geographic location of the Titicaca Lake, Peru – Bolivia.

### **Figura 2. Relación entre las capturas y biomásas totales anuales de pejerrey *Odontesthes bonariensis* en el Lago Titicaca.**

Figure 2. Relationship between the catches and biomass annual of argentine silverside *Odontesthes bonariensis* in the Titicaca lake

### **Figura 3. (a) Nivel de agua del Lago Titicaca, (b) Precipitación anual y (c) Desembarque de pejerrey *Odontesthes bonariensis* (1981 – 2010). Serie de tiempo original (orig) y suavizada (suav).**

Figure 3. (a) Level water lake Titicaca, (b) year rainfall and (c) landing argentine silverside *Odontesthes bonariensis* (1981 – 2010). Original (orig) and smoothed (suav) time series

### **Figura 4. Función de correlación cruzada de los residuales de nivel de agua del lago – precipitación anual, nivel de agua del lago – captura pejerrey anual y precipitación – captura pejerrey anual; la línea punteada indica el nivel significativo de correlación ( $\alpha = 0.05$ ); el retraso negativo está implicado en la relación ambiente – recurso.**

Figure 4. Cross correlation function of residuals for annual level water lake-rainfall, annual level water lake-landing argentine silverside and annual rainfall – landing argentine silverside; the dotted line shows the significant correlation level,  $\alpha = 0.05$ ; lag: delay time.

### **Figura 5. Descomposición de las series de tiempo de las variables ambientales usando un suavizador (STL), entre 1981 – 2010. a) Serie de tiempo del nivel de agua del lago, b) Serie de tiempo de precipitación.**

Figure 5. Time series of environmental variables decomposition using smoothing (STL), from 1981-2010. a) Time series of level water lake, b) Time series of rainfall

### **Figura 6. Función de correlación cruzada de los residuales de nivel de agua del lago-precipitación mensual, nivel de agua – captura pejerrey mensual y precipitación –**

**captura pejerrey mensual, la línea punteada indica el nivel significativo de correlación con  $\alpha = 0,05$ ; lag: tiempo de retraso.**

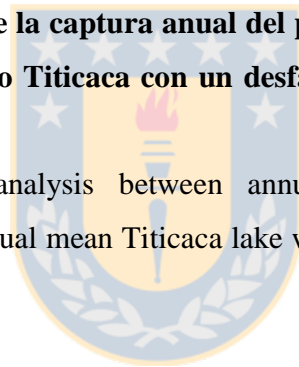
Figure 6. Cross correlation function for monthly level water lake – rainfall, monthly level water lake-landing argentine silverside and monthly rainfall – landing argentine silverside the dotted line shows the significant correlation level,  $\alpha = 0.05$ ; lag: delay time.

**Figura 7. Áreas inundables en el Lago Titicaca productos de las fluctuaciones interanuales del nivel de agua del lago a) periodo 1981-1986 b) periodo 1986-1996 c) periodo 1996 – 2003 y d) periodo 2003 – 2009**

Figure 7. Flooding areas in the Lake Titicaca products of interannual fluctuations from level water lake a) period 1981-1986 b) period 1986-1996 c) period 1996 - 2003 and d) period 2003 – 2009

**Figura 8. Regresión lineal entre la captura anual del pejerrey *Odontesthes bonariensis* y el nivel medio anual del Lago Titicaca con un desfase de tres años (1981 – 2004) y (2005 – 2010).**

Figure 8. Lineal regression analysis between annual catches argentine silverside *Odontesthes bonariensis* and annual mean Titicaca lake with a three years lag time (1981 – 2004) and (2005 – 2010).



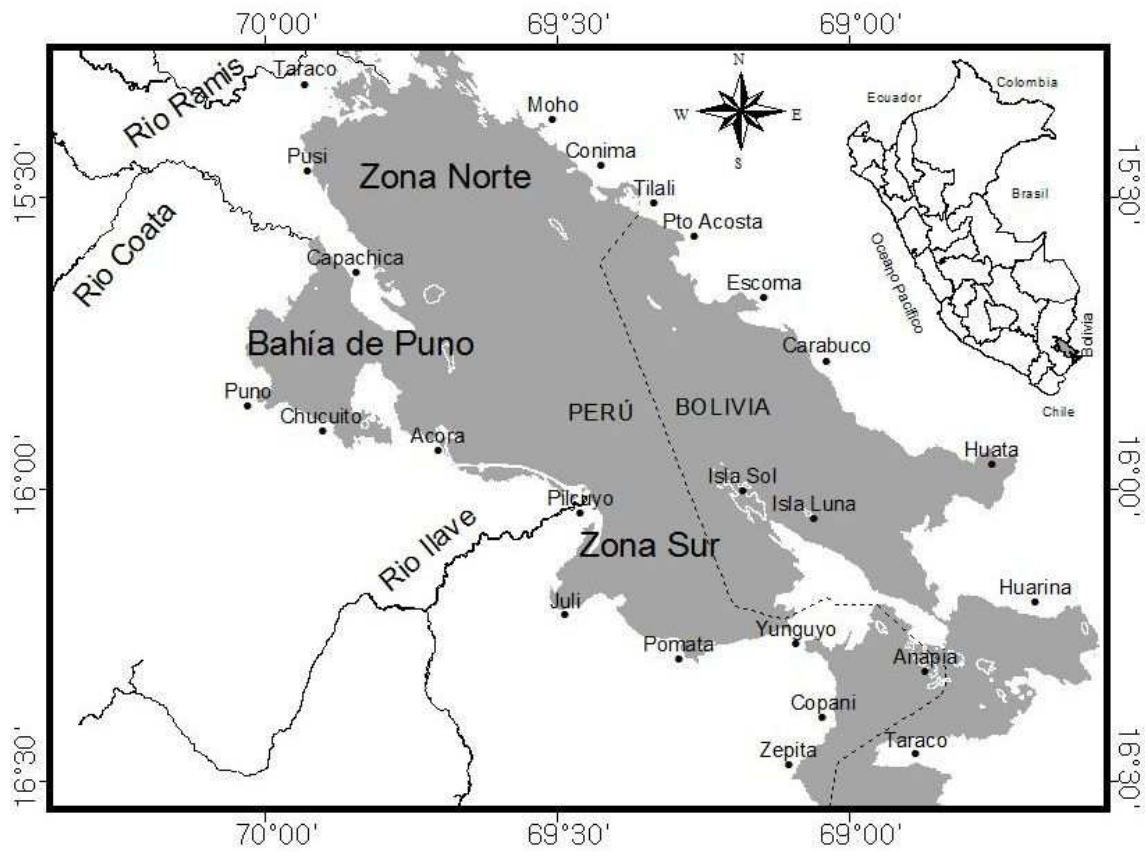


FIGURA 1. Localización geográfica del Lago Titicaca, Perú – Bolivia.

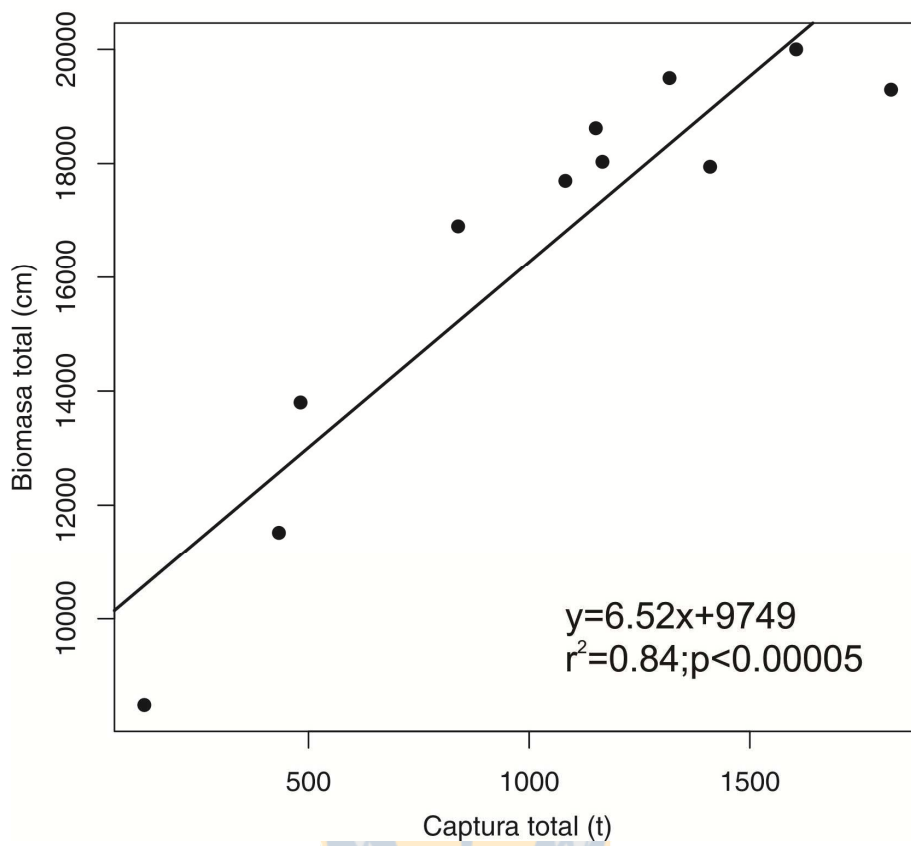


FIGURA 2. Relación entre las capturas y biomاسas totales anuales de pejerrey *Odontesthes bonariensis* en el Lago Titicaca.

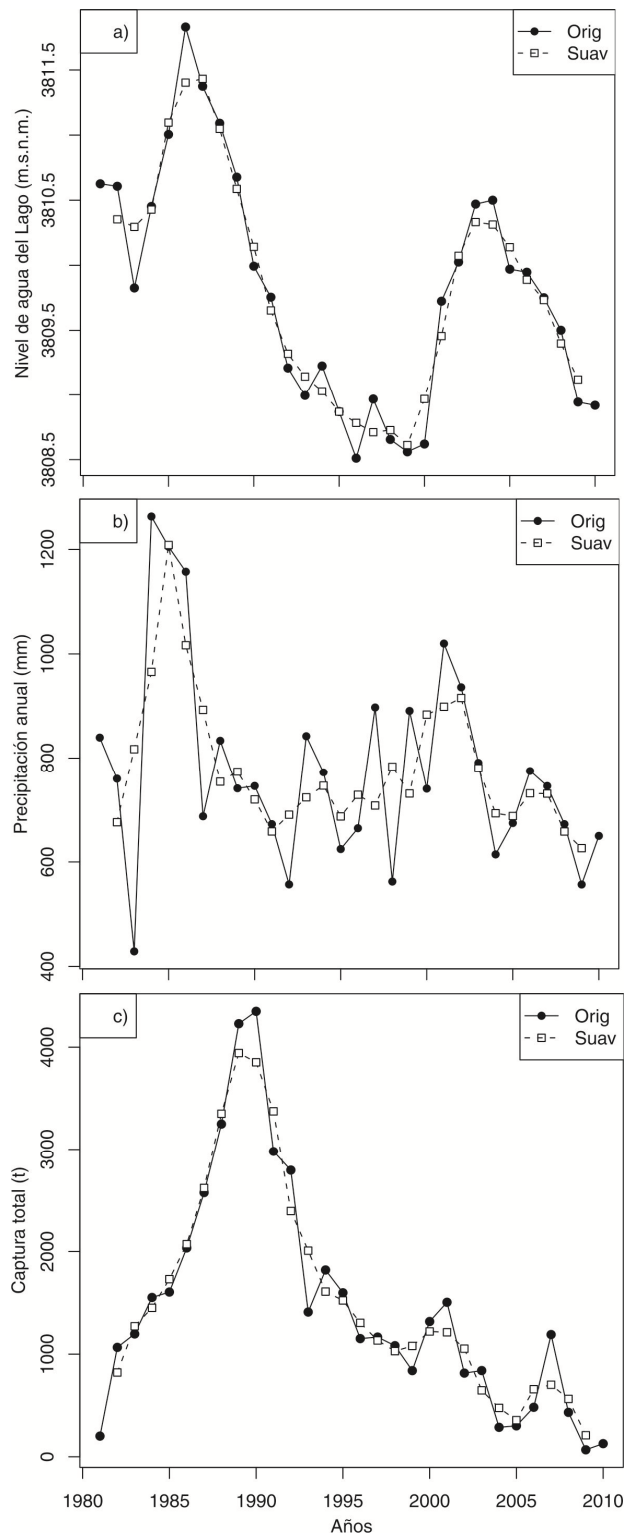


FIGURA 3. (a) Nivel de agua del Lago Titicaca, (b) Precipitación anual y (c) Desembarque de pejerrey (1981 – 2010). Serie de tiempo original (orig) y suavizada (suav).

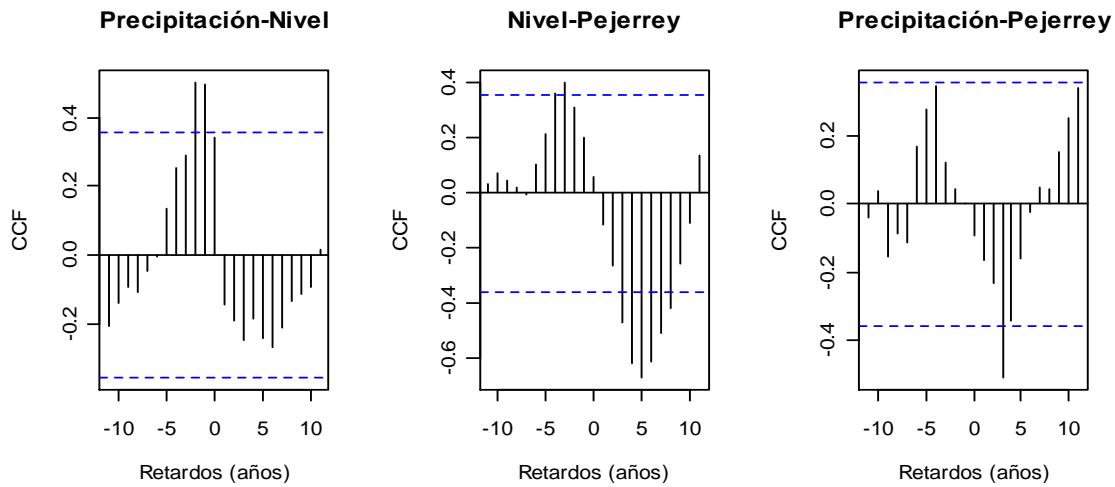


FIGURA 4. Función de correlación cruzada de los residuales de nivel de agua del lago – precipitación anual, nivel de agua del lago – captura pejerrey anual y precipitación – captura pejerrey anual; la línea punteada indica el nivel significativo de correlación ( $\alpha = 0.05$ ); el retraso negativo está implicado en la relación ambiente – recurso.

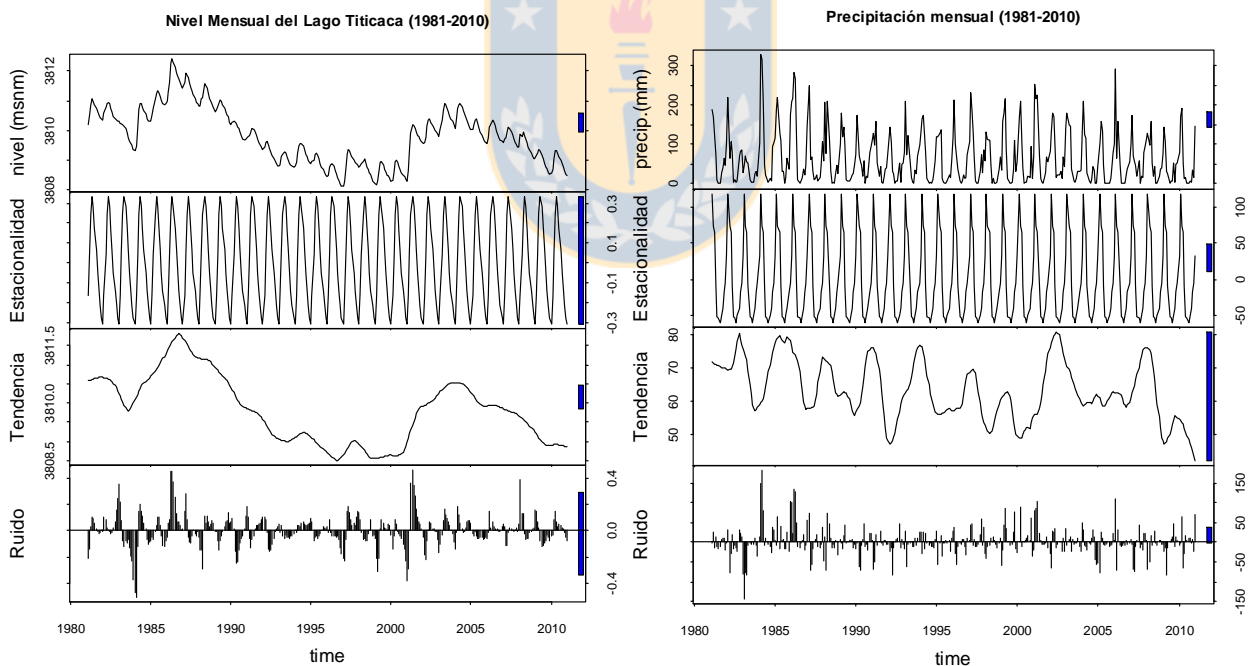


FIGURA 5. Descomposición de las series de tiempo de las variables ambientales usando un suavizador (STL), entre 1981 – 2010. a) Serie de tiempo del nivel de agua del lago, b) Serie de tiempo de precipitación.



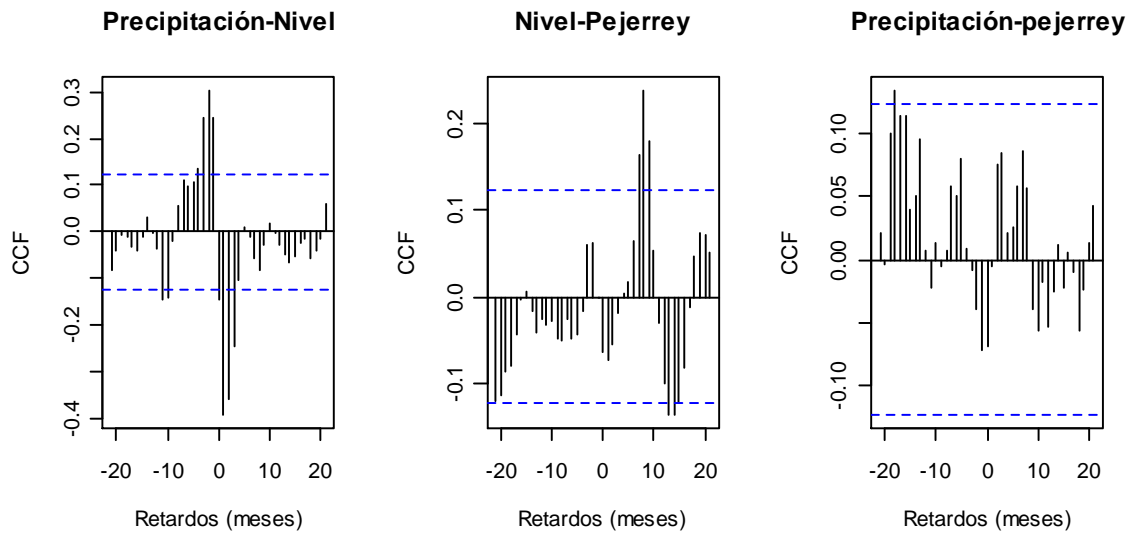


FIGURA 6. Función de correlación cruzada de los residuales de nivel de agua del lago-precipitación mensual, nivel de agua – captura pejerrey mensual y precipitación – captura pejerrey mensual, la línea punteada indica el nivel significativo de correlación con  $\alpha = 0,05$ ; lag: tiempo de retraso.



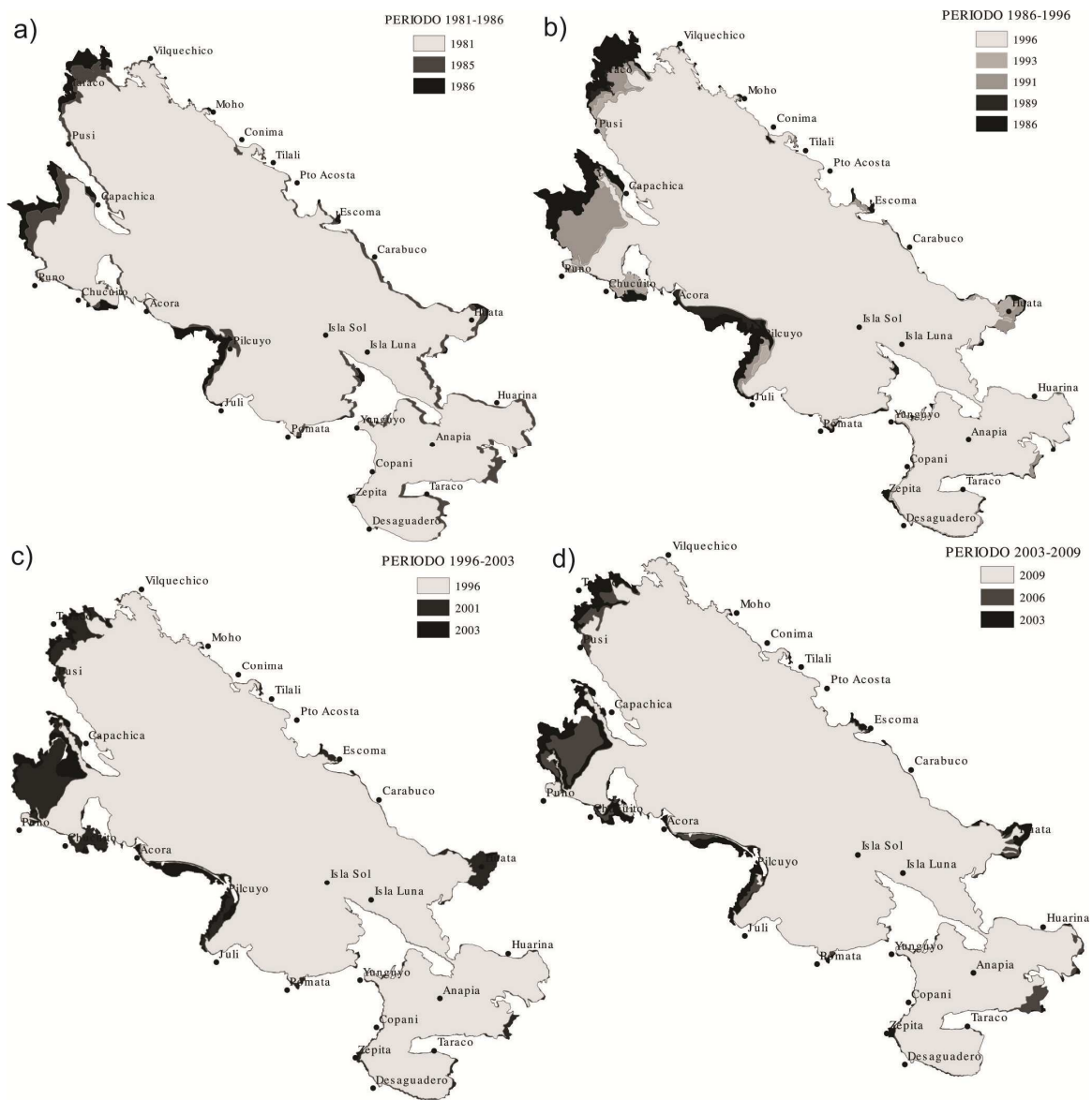


FIGURA 7. Áreas inundables en el Lago Titicaca productos de las fluctuaciones interanuales del nivel de agua del lago a) periodo 1981-1986 b) periodo 1986-1996 c) periodo 1996 – 2003 y d) periodo 2003 – 2009.

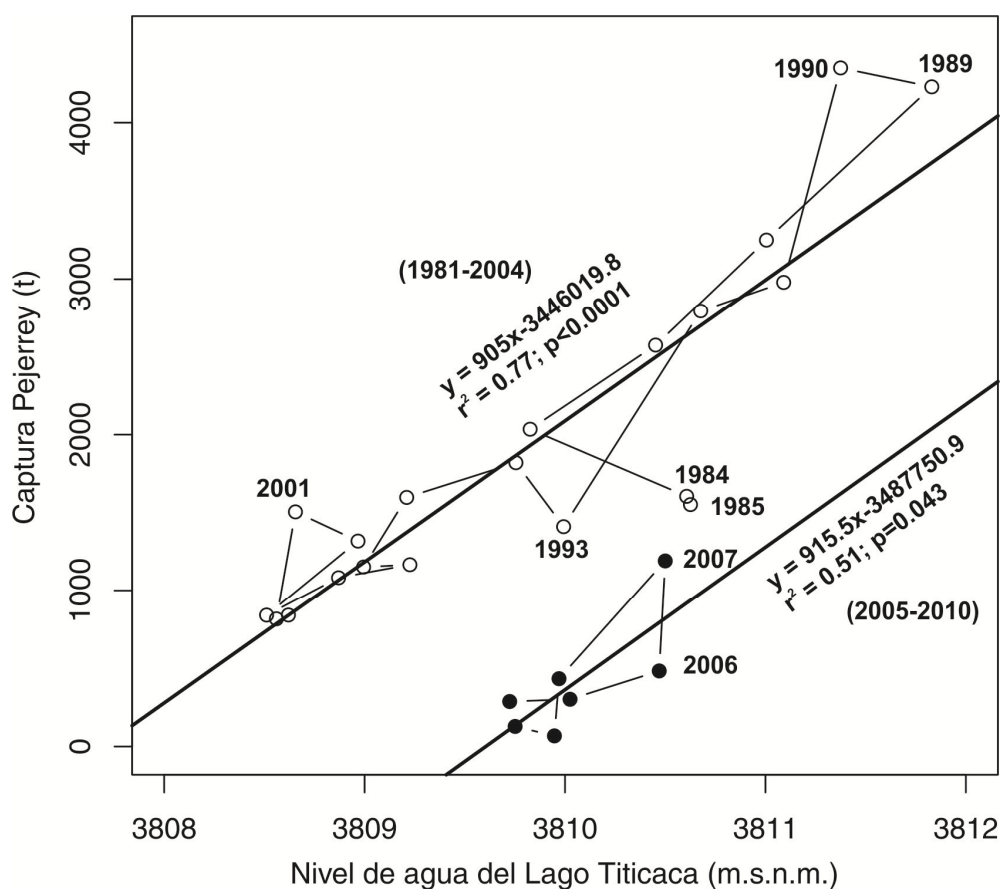


FIGURA 8. Regresión lineal entre la captura anual del pejerrey *Odontesthes bonariensis* y el nivel medio anual del Lago Titicaca con un desfase de tres años (1981 – 2004) y (2005 – 2010).

**TABLA 1. Especies de mayor captura en la pesquería artesanal del Lago Titicaca entre 1981 y 2010**

Table 1. Species mostly landing in the small scale fishery of the Lake Titicaca, between 1981 and 2010

| Nombre Científico                       | Captura total<br>(t) | Captura total<br>(%) |
|---|----------------------|----------------------|
| Pejerrey <i>Odontesthes bonariensis</i> | 46178                | 43.4                 |
| Ispi <i>Orestias ispi</i>               | 12460                | 11.7                 |
| Mauri <i>Trichomycterus rivulatus</i>   | 1863                 | 1.8                  |
| Trucha <i>Oncorhynchus mykiss</i>       | 1548                 | 1.5                  |
| Boga <i>Orestias pentlandii</i>         | 926                  | 0.9                  |
| Otros 6 spp. (Carachis)                 | 43358                | 40.8                 |
| <b>Total</b>                            | <b>106333</b>        | <b>100.0</b>         |

## CAPITULO II

### **Relaciones entre las capturas del ispi *Orestias ispi* (Lauzanne, 1981), la precipitación y el nivel de agua del lago Titicaca en el sector peruano (1981–2010)**

**Relationships between the catches of ispi *Orestias ispi* (Lauzanne, 1981), rainfall and lake Titicaca level water in the Peruvian sector (1981 – 2010)**

RENÉ CHURA<sup>1,3,\*</sup>, LUÍS A. CUBILLOS<sup>2</sup> & HUGO TREVIÑO<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Programa de Magíster en Ciencias con Mención en Pesquerías, Universidad de Concepción, Concepción, Chile

<sup>2</sup>Departamento de Oceanografía, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción, Concepción, Chile

<sup>3</sup>Laboratorio Continental de Puno, Instituto del Mar del Perú – IMARPE

\* Autor correspondiente: [rchurac@udec.cl](mailto:rchurac@udec.cl)

Artículo enviado a: Gayana

Manuscrito suministrado corresponde al N° Ga2011-12-067 y su estado actual es en revisión

## RESUMEN

El lago Titicaca ( $15^{\circ}13.3'/16^{\circ}35.6'S$ ;  $68^{\circ}33.6'/70^{\circ}02.2'W$ ) es un cuerpo de agua compartido entre Perú y Bolivia, localizado a 3810 m sobre el nivel del mar, con una superficie aproximadamente de 8400 km<sup>2</sup>. En el lago se desarrolla una importante actividad de pesca sobre especies pelágicas, con las mayores capturas sobre el ispi *Orestias ispi*. En este estudio se establece la relación entre las fluctuaciones de las precipitaciones y del nivel de agua del lago y las capturas del ispi en tres zonas del sector peruano del lago; a saber: Bahía de Puno, Zona Norte, Zona Sur. Los datos de captura fueron obtenidos de los Anuarios Estadísticos de la Dirección Regional de Pesquería de Puno y del Instituto del Mar del Perú. Las estadísticas de capturas anuales de ispi cubrieron el periodo 1981 – 2010, y los registros de capturas mensuales desde enero de 1990 a diciembre del 2010. Los datos del nivel de agua del lago y la precipitación fueron recopilados del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. Para serie anual se eliminó la tendencia utilizando un modelo lineal y se calculó los residuales, mientras las series mensuales fueron descompuestas para eliminar la tendencia interanual y la estacionalidad. La relación entre las variables se basó en los residuales, utilizando técnicas de regresión, autocorrelación y correlación cruzada. Una vez detectado el desfase de tiempo, se establecieron relaciones lineales para determinar el grado de explicación de los factores ambientales. A una escala estacional, se encontró una asociación negativa entre las capturas residuales y el nivel de agua del lago con desfase después del primer mes; y una asociación positiva a los 8 y 9 meses para las todas las zonas. Con la precipitación se estableció una asociación positiva antes de culminar el año para todas las zonas. A escala anual las variaciones de la captura establecen una relación negativa de 4 – 6 años de desfase con el nivel de agua del lago, con un efecto inmediato en la Bahía de Puno. Mientras con la precipitación se estableció una relación negativa de 2 a 4 años de desfase con una correlación alta en la zona Sur. El efecto directo de los aumentos en el nivel de agua del lago incide negativamente sobre la disponibilidad de ispi después de un mes, la cual se revierten 8-9 meses modulada por la migración reproductiva hacia el litoral. A su vez, al ser el ispi una especie de tamaño pequeño (<10 cm) y ciclo de vida corto, se establece que la relación negativa desfasada en 4-5 años es un efecto indirecto del aumento del nivel de agua del lago por un factor

adicional asociado con el aumento de la abundancia de su predador, i.e. el pejerrey *Odontesthes bonariensis*.

**Palabras Claves:** Ispi, Lago Titicaca, nivel de agua, precipitación, regresión, correlación, peces continentales.



## ABSTRACT

The Lake Titicaca (15°13.3'/16°35.6'S; 68°33.6'/70°02.2'W) is a sharing basin between Peru and Bolivia, located at 3810 m above sea level, with an area of approximately 8400 km<sup>2</sup>. In this lake an important fishing activity on small pelagic fish is developed with major captures due to the ispi *Orestias ispi*. In this study, the relationship between fluctuations in captures of ispi and fluctuations in precipitations and lake water level was established for three sector of the lake: Punos' bay, Northern Zone, and Southern Zone. Catch data were obtained from Anuarios Estadísticos de la Dirección Regional de Pesquería de Puno y from Instituto del Mar del Perú. The total annual catches of ispi covered 1981 to 2010, y monthly records of captures only from January 1990 to December 2010. The lake water level and precipitation data were obtained from Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. To the annual time series, the linear trend was removed and residuals were calculated; while the monthly time series were decomposed to eliminate the annual trend and seasonality. All the relationships between variables were based on residuals by using regression techniques, autocorrelation and cross-correlation functions. Once detected the lag for each zone, linear relationships were established to determine the degree of explained variance by environmental factors. In the seasonal scale, a negative association was found between residual catches and lake water level lagged in one month, and positive after 8-9 month. Negative relationships lagged by 4-6 year were found between captures and precipitation and lake water level with a high correlation in south zone. While with precipitation was established negative relationship between 2 and 4 years of lagged with a high correlation in the south zone. It was concluded that direct effects of lake water level rise are influencing negatively on availability of ispi after one month, and that is reversed after 8-9 month driven by reproductive migration toward littoral zone. By considering that ispi is a small pelagic fish (< 10 cm) with short life span, it was concluded that the negative relationship lagged by 4-5 year could be an indirect effect of lake water level rise through an additional factor related with the higher abundance of their predator, i.e. the argentine silverside *Odontesthes bonariensis*.

**Keywords:** Ispi, Lake Titicaca, lake water, precipitation, regression, correlation, continental fishes.

## INTRODUCCIÓN

Comprender los efectos ambientales sobre las poblaciones de peces es un desafío en la dinámica de poblaciones. En efecto, la abundancia y capturas de las poblaciones de peces e invertebrados marinos oscilan en patrones temporales complejos, desde la escala estacional hasta la interdecadal, y de más largo plazo (Pyper & Peterman 1998; Spencer & Collie 1999; Mathieu et al. 2000). Las fluctuaciones interanuales en las condiciones oceanográficas, limnográficas y atmosféricas son capaces de ocasionar importantes variaciones en el reclutamiento y en consecuencia, en la biomasa de las poblaciones de peces (Quiñones & Montes 2001; Alheit & Bakun 2010).

En el caso de los cuerpos de agua continentales, el efecto del ambiente sobre poblaciones de peces en lagos ha sido poco estudiado. En general, las fluctuaciones del nivel del agua de lagos y ríos son variables que controlan el funcionamiento de estos ecosistemas, con énfasis en los procesos de interface de la zona litoral de los recursos acuáticos (peces, plantas y plancton) y terrestres (Leira & Cantonati 2008). Allen et al. (2003) determinó una relación positiva entre el nivel del Lago Tarpon (USA) y el reclutamiento de la perca americana *Micropterus salmoides* y una relación negativa entre el nivel del lago y el recurso black crapie *Pomoxis nigromaculatus*. Asimismo, Price et al. (2003) encontraron que a temperaturas menores que 14 °C una mayor disponibilidad del recurso lake whitefish *Coregonus clupeaformis* a la pesca.

En general, la relación entre la abundancia y/o capturas de recursos marinos y las variables ambientales han sido detectadas mediante el análisis de correlación y regresión (Drinkwater 1986; Drinkwater & Myers 1987; Drinkwater et al. 1991; Pyper & Peterman 1998; Montes & Quiñones 1999; Quiñones & Montes 2001; Lloret et al. 2004; Díaz & Quiñones 2008; Gatica et al. 2009; Parraga et al. 2010). Si bien es cierto esta técnica no puede proveer una relación causa – efecto directa, permite determinar el grado asociación entre variables (Quiñones & Montes 2001), y postular hipótesis *a posteriori* sobre dicha relación (Myers 1998).

El lago Titicaca (15°13.3'/16°35.6'S; 68°33.6'/70°02.2'W) se ubica a una altitud de 3.810 m sobre el nivel del mar, tiene una superficie de aproximadamente 8400 km<sup>2</sup>, un volumen de



930 km<sup>3</sup>, y se caracteriza por ser el segundo lago más grande y navegable en Sudamérica (Hahnenberger 2003). El lago se divide en tres zonas: i) el Lago Mayor (6500 km<sup>2</sup>), que representa el cuerpo de agua más grande con la máxima profundidad del lago (284 m) y se caracteriza por presentar una zona litoral muy reducida menor a un 1 km de distancia a la costa a excepción de la zona Norte, donde se encuentra el cauce del río Ramis y la zona litoral se extiende hasta los 3 km; ii) la Bahía de Puno, con 500 km<sup>2</sup> y de las cuales 53% corresponde al área de totorales y macrófitas sumergidos, y la zona litoral puede llegar hasta los 4 km, con profundidad media de 10 y 30 m y hacia el norte desemboca el río Coata. Por último, iii) el Lago Pequeño de 1400 km<sup>2</sup>, separado del Lago Grande a través del estrecho de Tiquina, y la profundidad media es de 20 a 30 m (Wirrmann 1991; Paredes & Gonfiantini 1999).

De acuerdo con las propiedades físico-químicas, la temperatura superficial oscila de 11.2 (agosto) a 14.4 °C (marzo); mientras que debajo de los 100 m de la columna de agua la temperatura fluctúa entre 10 y 12 °C (Iltis et al. 1991; IMARPE 2007). El oxígeno disuelto en superficie es de 7 mg l<sup>-1</sup>, disminuye con la profundidad, y varía según la época del año (IMARPE 2007). El pH promedio es de 8.6 en superficie y puede llegar a 8.7 en zonas de alta producción fotosintética. La conductividad eléctrica fluctúa entre 1300 y 1500 µS cm<sup>-1</sup>. Además, las aguas del lago son cloro-sulfatadas sódicas con concentración de cloro (260 mg l<sup>-1</sup>), sulfatos (284 mg l<sup>-1</sup>), calcio (66 mg l<sup>-1</sup>), magnesio (34 mg l<sup>-1</sup>) y sodio (179 mg l<sup>-1</sup>) (PELT 1994; Sáez & Blázquez 1999; IMARPE 2007). El nitrato varía de 0.06 a 0.24 mg l<sup>-1</sup>, el fósforo entre 0.007 y 0.023 mg l<sup>-1</sup> en la zona pelágica y de 0.16 a 0.65 mg l<sup>-1</sup> en la zona profunda (Richerson et al. 1977; IMARPE 2007). La transparencia del lago oscila de 2.6 a 15 m (IMARPE 2007).

La precipitación en el Lago Titicaca es fundamental ya que aporta con 55% de agua al lago (Paredes & Gonfiantini 1999; Garreaud & Aceituno 2001). Las variaciones interanuales de la precipitación sobre el Altiplano, se extiende a lo largo de los Andes Central y Ecuatorial, y las anomalías de viento de la zona bajan sobre el margen occidental de Sudamérica tropical y Pacífico oriental donde muestra una relación con la zona Este/húmedo y Oeste/seco. Las anomalías de circulación son un balance geostrofico con los cambios en la baroclinicidad meridional causado por anomalías de temperatura en la tropósfera tropical

(Garreaud & Aceituno 2001). Por otra parte, el aporte de agua a través de los ríos y arroyos al Lago Titicaca representa el 53% al año. Los ríos más importantes son el Ramis, Coata, Ilave, Huancané en Perú y Suche y Tiwanaco en Bolivia (Roche et al. 1991; Paredes & Gonfiantini 1999; SENAMHI 2008).

El ispi *Orestias ispi* (Lauzanne, 1981) es un pez nativo del Lago Titicaca y habita en todo el lago con predominancia en la zona de Llachón, Islas Amantani – Taquile, desembocadura del río Ilave en Perú y en el centro del lago (Deguen et al. 2002; IMARPE 2008). En la columna de agua se distribuye hasta los 140 m, con una mayor concentración entre 10 y 40 m de profundidad (IMARPE 2010).

El ispi crece a un tamaño asintótico de 10.5 cm de longitud total (LT), y con una tasa de crecimiento rápido ( $k = 0.84 \text{ año}^{-1}$ ) (IMARPE 2010), lo que permite inferir que el reclutamiento al arte de pesca (redes cortina) podría ocurrir entre 7 meses y 1 año de edad, y a tamaños de entre 4 y 6 cm LT, respectivamente. Posee una forma hidrodinámica con su cuerpo totalmente cubierto de escamas y se alimenta especialmente de copépodos, anfípodos y otros zooplancton de tamaño pequeño en los que encuentra en sus migraciones verticales y horizontales (Vaux et al. 1988; Sáez & Blázquez 1999; Paca et al. 2002; IMARPE 2008).

La época de máxima de reproducción del ispi en el lago se da entre septiembre y octubre, y otro desove menos intenso, de marzo a abril (IMARPE 2009), llegando en un desove expulsar entre 350 y 360 ovas por hembra (Paca et al. 2002) y lo realizan entre las plantas acuáticas. Su vida sexual se caracteriza por una sucesión ininterrumpida de tandas de desove (reproducción parcial), es decir, no están sincronizados sus diferentes desoves individuales (Arteaga et al. 2002; IMARPE 2009).

El objetivo de este trabajo fue determinar la relación entre la variabilidad de las capturas del ispi con las fluctuaciones en el nivel de agua del Lago Titicaca en el sector peruano,

El objetivo del trabajo fue determinar la relación de la variabilidad del nivel de agua del lago Titicaca y de la precipitación sobre los desembarques de la pesquería del ispi *Orestias ispi* en el sector peruano del lago entre 1981 y 2010, considerando la siguiente hipótesis: los

cambios temporales del nivel de agua del Lago Titicaca y la precipitación tienen relación con la abundancia y disponibilidad del ispi *Orestias ispi*, con consecuencias en su pesquería.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Área de estudio y datos**

El área de estudio corresponde al sector Peruano del Lago Titicaca (Fig. 1). Las estadísticas de capturas anuales del ispi corresponden al período 1981 – 2010, y mensuales desde enero de 1990 a diciembre del 2010. Con fines comparativos, los datos e información fueron agrupados en tres zonas: Norte, Sur y Bahía de Puno. Estos datos se obtuvieron de los Anuarios Estadísticos de la Dirección Regional de Producción de Puno (DIREPRO PUNO) y del Instituto del Mar del Perú (IMARPE).

Los datos del nivel de agua del Lago Titicaca y precipitación se obtuvieron de los registros del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Se utilizó datos mensuales del nivel de agua del lago y de la precipitación con el objeto de conformar una serie de tiempo que cubra el periodo de registros de captura del ispi. En relación con la especie objetivo de estudio, el ispi (*Orestias ispi*) representó para el período 1981 y 2010 un 11.7%, equivalente a 12460 t (Tabla 1), siendo el segundo recurso más capturado de un total de once especies del Lago Titicaca. La zona Sur para el periodo 1990 y 2010 representó el 61.7% de las capturas. De los reportes del IMARPE entre 2007 y 2010, el ispi fue capturado, principalmente con redes cortina (95%) y redes tipo bolsa “artesanal” (5%).

Los datos de captura anuales están orientados a establecer las relaciones interanuales entre el nivel de agua del lago y la abundancia por zonas del lago, mientras que las series de tiempo mensuales permitirán evaluar relaciones desfasadas que den cuenta de cambios en la disponibilidad estacionales por zonas del lago.

### **Las capturas como índice de abundancia**

En este estudio se usó los registros de captura ante la ausencia de una estadística detallada del esfuerzo de pesca. Se asume que las capturas anuales están relacionadas con la

abundancia, mientras que los datos mensuales de captura estarían principalmente relacionados con la disponibilidad a la pesca. Los datos de captura como índice de abundancia pueden ser cuestionados en escalas de tiempo cortas (meses), ya que pueden estar influenciado por múltiples factores tales como la disponibilidad, el esfuerzo de pesca, precios, entre otros (Fréon et al. 2008). Para validar el uso de las capturas como índice de abundancia se estableció una relación entre las capturas anuales y estimaciones de biomasa realizadas con el método hidroacústico. Los datos de biomasa acústica fueron obtenidos de los informes técnicos sobre las evaluaciones realizadas por el IMARPE. La relación fue positiva y significativa ( $r^2 = 0.51$ ;  $P = 0.05$ ; Fig. 2), demostrándose que los datos de captura anual podrían dar cuenta de cambios en abundancia.

### **Áreas de inundación producto de las fluctuaciones en el nivel del lago**

Para determinar las áreas de inundación, entre 1981 y 2010, se digitalizó imágenes satelitales Landsat 5-6 con sensores TM y ETM del National Institute for Space Research of Brazil (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>). Estas imágenes poseen siete bandas que representan una porción del espectro electromagnético, con una resolución geométrica de las imágenes en las bandas de 30 m (cada pixel 0.09 ha). Las imágenes satelitales fueron visualizadas y georeferenciadas con el programa ArcGIS versión 9.3; y luego digitalizadas considerando el borde costero del lago en los diferentes periodos. Con los mapas digitalizados se obtuvo el área total del Lago Titicaca, las cuales sirvieron para determinar el área de inundación. El área de inundación se calculó como la diferencia del área total del año y el área del lago a la cota de 3809.93 metros sobre el nivel del mar (msnm), equivalente a 8400 km<sup>2</sup>. Posteriormente, se correlacionó las áreas de inundación con los cambios en el nivel del lago, y la abundancia del ispi.

### **Procedimiento estadístico**

A las series de tiempo anuales de capturas del ispi, nivel del lago, y registros pluviométricos se aplicó un promedio móvil apropiado para la data para observar cambios en la tendencia y la influencia del componente de variación de alta frecuencia (Cubillos & Fuenzalida 1990; Montes & Quiñones 1999; Quiñones & Montes 2001).

Para establecer la relación entre las capturas anuales de ispi y las fluctuaciones en el nivel del lago se eliminó la tendencia utilizando un modelo lineal y se calcularon residuales. Posteriormente se utilizó correlación cruzada con la finalidad de determinar el grado de desfase entre las series de tiempo. Una vez identificado el desfase temporal, se analizó el grado la relación utilizando un modelo de regresión lineal. La función de autocorrelación (FAC) permitió detectar el grado de dependencia de las observaciones de las series de tiempo, y determinar el número de observaciones independientes disponibles.

Finalmente, con el objeto de analizar la relación estacional entre las series de tiempo, se utilizó las series de tiempo mensuales de nivel del lago, precipitación y capturas del ispi. Para ello, se eliminó la tendencia y la estacionalidad de los datos utilizando la función STL (Seasonal, Trend and irregular components using LOESS) de la biblioteca STATS disponible para el programa R (R Development Core Team 2010). El procedimiento de descomposición STL se basa en suavizadores loess, y considera un algoritmo iterativo que suaviza y mejora progresivamente las estimaciones de la tendencia y del componente estacional, siendo resistente a observaciones extremas (Cleveland et al. 1990). Se representa por la siguiente ecuación:

$$Y_i = T_i + S + R_i, \text{ donde } i = 1 \text{ a } N$$

donde  $Y_i$  es la variable de interés en el tiempo  $i$ ,  $T$  es la tendencia,  $S$  es el componente estacional, y  $R_i$  son los residuales no explicados por la tendencia ni el componente estacional. Con los residuales se calculó la función de autocorrelación (FAC) para determinar el grado de dependencia hasta un retraso máximo de 12 meses. La autocorrelación se evaluó considerando como hipótesis nula que si la secuencia se distribuye normal, independiente e idénticamente distribuida (IID), cerca del 95% de los datos deberían caer entre los límites de confianza, si más de 1 valor cae fuera de los límites se rechaza la hipótesis de que los datos son IID (Brockwell & Davis 2002). Posteriormente se utilizó una función de correlación cruzada (FCC) para detectar la dependencia entre los residuales de las series de tiempo, considerando los residuales de captura como dependientes y los residuales del nivel del lago, así como los de precipitación, como

independientes. El objetivo de FCC fue establecer relaciones desfasadas en la respuesta de la variable dependiente en función de cambios en las variables independientes.

## RESULTADOS

### Fluctuaciones interanuales y relación entre series anuales

El nivel de agua del Lago Titicaca exhibió fluctuaciones importantes en el periodo 1981-2010. El nivel de agua máximo ocurrió en 1986 (3811.83 msnm) y otro secundario en 2004 con 3810.51 msnm. El más bajo nivel de agua ocurrió en 1996 (3808.51 msnm) y 2010 (3808.92 msnm, Fig. 3a). La amplitud promedio anual fue de 0.9 m, con una amplitud máxima de 1.6 m (2001) y mínimos de 0.5 m (1993). Por otra parte, en los registros de precipitación anual del período 1981–2010, se estableció que los años lluviosos fueron 1984 (1263.1 mm) y 2001 (1019.8 mm), y los periodos menos lluviosos fueron 1983 (428.8 mm) y 1992 (556.9 mm, Fig. 3b)

La captura del ispi presentó cuatro momentos importantes entre 1981 y 2010, con las capturas más altas en 1983 con 1446 t, seguidos de 1987, 1994 y 2000 con 1199, 1169 y 1180 t, respectivamente. De la misma manera, los periodos con capturas bajas fueron 1981 y 1989 con 116 y 86 t, respectivamente (Fig. 3c). Las fluctuaciones de las capturas por zonas muestran que las capturas más altas ocurren en la Zona Sur entre 1996 y 2010, entre 1992 y 2005 para la Zona Norte, y entre 1994 y 2007 para la Zona Sur. En el año 2000 las capturas fueron significativas en las tres zonas del lago (Fig. 4).

Se observó que los cambios en el nivel de agua del lago están asociados significativamente con la precipitación hasta después dos años, lo que implica que en la escala anual los años lluviosos determinan el nivel de agua del lago hasta dos años después en forma significativa (Fig. 5). El incremento del nivel de agua del lago determinó una disminución en la abundancia del ispi de forma no significativa a los 3 años (Fig. 5). Mientras las capturas de ispi de la Bahía de Puno fueron influenciadas después de a 4 años por el nivel de agua del lago ( $r = -0.45$ ;  $P < 0.05$ ) (Fig. 5), entre el 5 y 6 años ( $r = 0.63$ ;  $P < 0.05$ ) para la Zona Norte (Fig. 5), y una relación débil no significativa y positiva al 4 año para la Zona Sur (Fig. 5).

La relación entre la precipitación y la abundancia del ispi fue negativa y significativa con un desfase máximo al 4 año (Fig. 5). En la Zona sur el efecto de la precipitación sobre las capturas del ispi fue negativo y significativo después de 2 años (Fig.5). De la misma manera se observó un efecto negativo débil después de 5 años para la Bahía de Puno (Fig. 5), mientras en la Zona Sur el efecto fue una relación positiva con un desfase de 5 años (Fig. 5).

En la escala anual, el nivel de agua del lago Titicaca presentó una estructura de autocorrelación significativa y positiva al primer ( $r = 0.83$ ,  $P < 0.05$ ) y segundo año de retraso ( $r = 0.59$ ;  $P < 0.05$ ), seguido con una correlación inversa después de ocho ( $r = -0.45$ ;  $P < 0.05$ ) y once años de retraso ( $r = -0.45$ ;  $p < 0.05$ ). La serie de tiempo anual de capturas de ispi y precipitación no mostraron estructura de autocorrelación.

### **Series de tiempo mensuales**

En la escala mensual, se observó que los cambios en el nivel de agua del lago son de más baja frecuencia que los cambios en la precipitación y que ambas series presentan un marcado componente de fluctuación estacional (Fig. 6a). La señal estacional del nivel de agua del lago indica que entre diciembre y abril se presenta un fuerte ascenso de las aguas producto del máximo de aportes globales de las lluvias y de los tributarios (Ríos Ramis, Coata, Ilave y Huancané). Entre mayo a diciembre se presenta el descenso debido a la ausencia de lluvias y a la fuerte evaporación que se produce en el lago (Fig. 6b). En el caso de la precipitación, se observa una señal estacional con la mayor precipitación sobre el lago desde diciembre a marzo, que corresponde al verano austral. En tanto, de mayo a junio las precipitaciones decaen prácticamente a cero (Fig. 6a).

En el caso de las capturas del ispi, la señal estacional indica altas captura durante la época reproductiva (setiembre) y con las más bajas en mayo (IMARPE 2009) (Fig. 6c). Mientras por zonas, se determinó capturas máximas en los meses de setiembre, noviembre y diciembre para las zonas Bahía de Puno, Zona Sur y Norte, respectivamente. Las capturas mínimas corresponden a los meses de febrero a mayo para toda las zonas del lago (Fig. 7a,b,c).

Los registros de captura mensual de ispi cubren desde 1990, observándose una tendencia de crecimiento entre 1990 a 1995 para luego disminuir hasta 1996 y presentarse un segundo pico en 2001 seguido de una tendencia a la baja hasta el 2005 y seguido de una recuperación en forma gradual hasta el 2010 (Fig. 6c). En estos periodos se observaron los residuales más importantes, no explicados por la tendencia ni la señal estacional.

### **Efecto de corto plazo (meses) del nivel de agua del lago y precipitación sobre las capturas del ispi**

En la escala mensual, los residuales del nivel de agua del lago se correlacionan significativamente con la precipitación a los tres meses de retraso, con un máximo a los dos meses (Fig. 8). El efecto inmediato del nivel de agua del lago, significativo y negativo, sobre las capturas del ispi se determinó al primer mes y después del 5<sup>o</sup> al 10<sup>o</sup> mes y con un máximo al 8<sup>o</sup> mes se determinó un efecto significativo y positivo del nivel de agua del lago en todas las zonas del lago (Fig. 8).

Mientras, el efecto de la precipitación mensual sobre las capturas del ispi fue significativo y positivo en todos los casos, con retrasos de entre 10 y 12 meses y con un desfase máximo al 11<sup>o</sup> mes en todas las zonas del lago, a excepción de la Zona Sur donde el efecto de la precipitación fue débil (Fig. 8)

### **Procesos de expansión y contracción de la zona litoral del Lago Titicaca**

Las fluctuaciones del nivel de agua del Lago Titicaca a nivel de la zona litoral determinan procesos de expansión y/o contracción. De acuerdo con Wirrmann (1991), el descenso de un metro en el nivel ocasiona una disminución de la superficie del agua de 1000 km<sup>2</sup> y la disminución del volumen de 8 km<sup>3</sup> aproximadamente. De las imágenes satelitales digitalizadas de Landsat entre el periodo 1981 y 2009 se determinó una relación directa entre el área de inundación con el nivel de agua del Lago Titicaca ( $r^2 = 0.95$ ;  $p < 0.0004$ ). Entre 1981 y 1999, se observó la máxima área de inundación en 1986, con 633 km<sup>2</sup> producto del máximo nivel de agua del lago registrado (3.811,83 msnm). Las áreas menores ocurrieron en 1983 y 1996, con 172 y 700 km<sup>2</sup> por debajo del nivel normal, respectivamente. En la última década más recientes (2000 – 2009) se observó que la



máxima inundación ocurrió en 2004 con 99 km<sup>2</sup> y la más baja en 2009 con 536 km<sup>2</sup> por debajo del nivel normal (Fig. 9). Se observó que las áreas inundables tienden a ocurrir en el sector peruano del lago, principalmente en la Bahía de Puno, y las zonas Norte y Sur del lago.

## DISCUSIÓN

La productividad de las poblaciones de peces puede ser afectada por las fluctuaciones en el nivel de agua de los lagos y las precipitaciones (Montes & Quiñones 1999). Al respecto, las precipitaciones modularían las fluctuaciones del nivel de agua del Lago Titicaca (Roche et al. 1991; Paredes & Gonfiantini 1999; Garreaud & Aceituno 2001), y las fluctuaciones interanuales del nivel de agua estarían determinadas por el balance entre los aportes y las pérdidas en agua. En abril ocurre el máximo nivel anual del lago, al final de periodo de lluvias y del aporte de los ríos tributarios, y el mínimo ocurre en diciembre, justo antes de las lluvias del año (Roche et al. 1991). En la escala interanual, la correlación cruzada indica que la precipitación influye significativamente en el nivel del lago hasta después de dos años; mientras que en el corto plazo (meses) influye durante dos a tres meses. La autocorrelación en el nivel del lago corroboran que las fluctuaciones anuales que se presentan en el lago son productos de las lluvias que ocurren con una mayor intensidad entre diciembre y febrero (Garreaud & Aceituno 2001). Se observó también que el nivel de agua del lago presenta fluctuaciones de baja frecuencia que podría estar relacionado con las fluctuaciones El Niño-Oscilación del Sur. Según, Garreaud & Aceituno (2001); Garreaud et al. (2003), las lluvias interanuales en el altiplano están relacionadas con el índice de oscilación del sur – El Niño (ENSO), esto es explicado por el calentamiento (enfriamiento) generalizado de la troposfera tropical durante las fases negativas (positivas) del ENSO y la asociación fuerte (débil) sobre el oeste de los Andes central. Entre 1981 y 2010 en el altiplano peruano – boliviano se presentó dos eventos del El Niño muy intensos en 1982-83 y 1997-1998, las cuales coinciden con periodos de baja precipitación anual (Maldonado & Calle 1998).

Otro, elemento que aporta en las fluctuaciones del nivel de agua del Lago Titicaca es el aporte de los ríos y arroyos en 53%, los ríos más grandes son el Ramis, Coata, Ilave,

Huancané, Suches que ingresan al lago Grande; y el río Tiwanaco que desemboca en el lago Menor, con descargas máximos al lago entre enero a abril y el mínimo en época seca (junio – julio) (Roche et al. 1991). Asimismo, la remoción de aguas del Lago Titicaca es debido a la evaporación, que es el responsable del balance del agua y posiblemente el primero que muestra la variabilidad interanual que representa el 91% (Roche et al. 1991; Paredes & Gonfiantini 1999).

### **Efecto del nivel de agua del lago y precipitación sobre las capturas del ispi**

La asociación y el efecto de las fluctuaciones interanuales del nivel de agua del lago sobre las capturas del ispi fue negativo, a excepción de la Zona Sur donde la relación tiende a ser positiva. Estas relaciones fueron desfasadas en el tiempo, con un desfase máximo entre 4 (Bahía de Puno) y 5 años (Zona Norte) (Fig. 10). Mientras a una escala estacional, se determinó una relación inmediato (1 mes) en la disponibilidad del ispi a la pesca y revirtiéndose después de 8<sup>o</sup> y 9<sup>o</sup> mes, el cual corresponde al periodo reproductivo del ispi en el Lago Titicaca (IMARPE 2010). Es importante resaltar que el ispi tiene como hábitat la zona pelágica del lago (> 50 m profundidad) y que solo se aproxima a la zona litoral por procesos reproductivos, donde son capturados por los pescadores (DIREPRO 2010).

De esta manera, las fluctuaciones del nivel de agua del lago no tienen relación directo en la abundancia del ispi más bien estaría modulando su disponibilidad a nivel estacional. En efecto, según los registros de comportamiento de los recursos pesqueros en la columna de agua en la Zona Norte del lago, se determinó concentraciones superficiales de ispi en época de invierno (10 y 40 m) y en primavera mas profundizados entre 20 y 80 m (IMARPE 2010), el cual es corroborado con los estudios realizados por Vaux et al 1988. Además, se observó importantes concentraciones de ispi de tipo denso en la zona litoral (< 50 m) en la estación de primavera, el cual correspondería al periodo reproductivo (septiembre – octubre).

El efecto de la precipitación interanual sobre las capturas del ispi fue negativo para todas las zonas del lago a excepción de la Zona Norte, con un desfase máximo de 2 a 4 años (Fig. 11). En la escala estacional la relación de la precipitación fue significativa y positiva al 11 mes en todos los casos. El desfase de tiempo que ocurre entre la precipitación y las capturas

de ispi parece ser excesivo considerando que el ispi es una especie con ciclo de vida corto y de pequeño tamaño. Por lo tanto, esta relación puede ser indirecta modulada por un factor adicional.

Según el contenido estomacal de pejerreyes adultos (>20 cm LT) entre 2008 y 2009 se ha encontrado restos de ispi y huevos de peces como ítem mas predominantes (IMARPE 2009), por lo se infiere que el pejerrey adulto es un predador sobre las poblaciones de ispi en el lago.

Al parecer los máximos desfases de la relación de las capturas del ispi en relación con el nivel del lago y precipitación están asociados a los efectos del nivel de agua del lago sobre las capturas del pejerrey. En el primer capítulo se determinó que las capturas del pejerrey presentaron una relación positiva y significativa con el nivel de agua del lago después de tres años. Al parecer, la ampliación de la zona litoral por procesos de crecida del nivel de agua lago estaría más bien favoreciendo el éxito del reclutamiento del pejerrey principalmente por tres mecanismos: por la disponibilidad de alimento natural, mediante el refugio frente a depredadores, y por condiciones ambientales favorables. Por lo tanto, se plantea que la relación indirecta entre la precipitación y nivel de agua del lago y las capturas de ispi después de 3-5 años podría ser a través del efecto directo sobre el pejerrey, cuya abundancia se vería favorecida. De esta manera, las fluctuaciones de la captura del ispi se explicarían más bien por las variaciones de la abundancia del pejerrey.

De la serie histórica de biomاسas de ispi y pejerrey para el periodo 1985 y 2010 se determina una relación negativa significativa ( $r^2 = -0.45$ ;  $p < 0.0004$ ) (Fig. 11) lo que indica que las disminuciones (aumento) de la poblaciones de ispi influyen en el aumento (disminución) de la poblaciones del pejerrey. Además a la disminución de la poblaciones del pejerrey se adiciona el incremento de esfuerzo de pesca de está en los últimos años (IMARPE 2010), favoreciendo indirectamente a la abundancia de ispi.

En consecuencia, en la escala estacional los cambios en el nivel de agua del lago afectarían negativamente la disponibilidad del ispi a la pesca con un mes de desfase en todas las zonas. Esto se revierte positivamente después de 8-9 meses, probablemente potenciado por la migración hacia el litoral con fines reproductivos. En la escala interanual, si bien se

establecen relaciones desfasadas entre 4-5 años entre los factores ambientales y las capturas de ispi, se concluye que estas relaciones son indirectas probablemente moduladas por la predación del pejerrey, cuyo reclutamiento es favorecido por el aumento del nivel de agua del lago.

### **AGRADECIMIENTOS**

El autor principal agradece a los docentes del Programa de Magíster en Ciencias con Mención en Pesquerías por su apoyo en la realización del presente trabajo. Asimismo, a los colegas del Instituto del Mar del Perú – Laboratorio Continental de Puno y a la Dirección Regional de la Producción Puno. Finalmente, agradecemos los comentarios y sugerencias de los revisores anónimos de este artículo.

### **BIBLIOGRAFIA**

ALHEIT J, BAKUN A (2010). Population synchronies within and between ocean basins: apparent teleconnections and implications as to physical-biological linkage mechanisms. *Journal of Marine Systems*. 79:267–285.

ALLEN M, TATE W, TUGEND K, ROGERS M, DOCKENDORF K (2003). Effects of water-level fluctuations on the fisheries of lake Tarpon. *Final Report*. Department of Fisheries and Aquatic Science. The University of Florida. 55 pp.

ANTUNEZ DE MAYOLO R (1992). Recurrencia del Fenómeno “El Niño” y el Titicaca. *Paleo ENSO Record Intern. Sympo*, (Lima, March 1992).

ARTEAGA F, ZURITA G, VEGA R, MORALES S, SANTIVAÑEZ R, RAMOS A, SAAVEDRA S (2002). Desarrollo de programas de pesca artesanal en el ámbito Boliviano. *Proyecto PER/98/G-32 Conservación de la biodiversidad en la cuenca del lago Titicaca. Subcontrato 24.24. Informe Final*. ([www.pnud.bo/biodiversidadtdps/proyecto](http://www.pnud.bo/biodiversidadtdps/proyecto)).

BROCKWELL P, DAVIES R (2002). Introduction to times series and forecasting. Segunda Edición. Springer. New York. 434 pp.

CLEVELAND R, CLEVELAND W, MCRAE J, TERPENNING I (1990). STL: a seasonal-trend decomposition procedure based on Loess. *Journal of Official Statistics*. 6:3–73.

CUBILLOS L, FUENZALIDA R (1990). El “período cálido de 1976 – 1984” y sus efectos en los desembarques de algunos peces de importancia comercial de la zona norte de Chile. *Ciencia y Tecnología del Mar*, CONA N° 14. Valparaíso Chile. ISSN 0716-2006.

DEGUEN M, HUERTA R, APAZA F, VILCHERREZ J, GALVES J, MARTINEZ V (2002). Evaluación del potencial de promoción de pesca de especies introducidas. *Proyecto PER/98/G-32 Conservación de la biodiversidad en la cuenca del lago Titicaca. Subcontrato 24.25. Informe Final*. 168 pp. (URL:<http://www.pnud.bo/biodiversidadtdps/proyecto>).

DÍAZ J, QUIÑONES R (2008). Relationship of precipitation, freshwater input, and sea level height with the abundance of the white shrimp (*Litopenaeus occidentalis*; Street, 1871) off Buenaventura, eastern tropical Pacific. *Fisheries Research*. 92:148–161.

DRINKWATER K (1986). On the role of freshwater outflow on coastal marine ecosystems- a workshop summary. En: Skreslet S (ed). pp. 429-438. Springer-Verlag, Berlin.

DRINKWATER K, HARDING G, GAUTHIER D (1991). The relationship of Quebec lobster landing to freshwater runoff and wind Storm. pp. 179-187. In: J.-C. Theriault (ed) *The Gula of St. Lawrence: small ocean or big estuary?*. *Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences*. 113.

DRINKWATER K, MYERS R (1987). Testing predictions of marine fish and shellfish landings from environmental variables. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 44:1568-1573.

FRÉON P, BOUCHON M, MULLON C, GARCÍA C, ÑIQUEN M (2008). Interdecadal variability of anchoveta abundance and overcapacity of the fishery in Peru. *Progress in Oceanography*. 79:401–412.

GARRAEAUD R, VUILLE M, CLEMENTS A (2003). The climate of the Altiplano: Observed current conditions and past change mechanisms. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 3054:1-18.

GARREAUD R, ACEITUNO P (2001). Interannual Rainfall Variability over the South American Altiplano. *Journal of Climate*. 14:2279-2789.

GATICA C, QUIÑONEZ R, FIGUEROA D, WIFF R, NAVARRO E, DONOSO M (2009). Asociación entre la Corriente de Deriva de los Vientos del Oeste y la abundancia relativa del pez espada (*Xiphias gladius*) frente a la costa de Chile. *Latin American Journal of Aquatic Research*. 38(1):97-105.

HAHMENBERGER M (2003). Summertime precipitation variability and atmospheric circulation over the south American Altiplano: Effects of lake Titicaca and salar de Uyuni. Oklahoma Weather Center Research Experiences for Undergraduates Program, Summer. 10 pp.

ILTIS A, CARMOUZE J, LEMOALLE J (1991). V.I. Características físico-químico del agua. In *El Lago Titicaca: Síntesis del Conocimiento Limnológico Actual*. C. Dejoux & A. Iltis (Eds). OSTOM-HISBOL, La Paz, Bolivia. 584(Cap. IV.1): 107-113.

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ (2007). Anuario Científico Tecnológico IMARPE. Enero – Diciembre. Volumen 7. ISSN 0378-7702. 168 pp.

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ (2008). Anuario Científico Tecnológico IMARPE. Enero – Diciembre. Volumen 8. ISSN 1813-2103. 176 pp.

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ (2009). Anuario Científico Tecnológico IMARPE. Enero – Diciembre. Volumen 9. ISSN 1813-2103. 182 pp.

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ (2010). Anuario Científico Tecnológico IMARPE. Enero – Diciembre. Volumen 10. ISSN 1813-213. 195 pp.

LEIRA M, CANTONATI M (2008). Effects of water-level fluctuations on lake: an annotated bibliography. *Hydrobiologia* 613:171-184.

LEVIEL D, B ORLOVE (1990). Local control of aquatic resources: Community and Ecology in Lake Titicaca, Peru. *American Anthropologist*. 92:362-382.

LLORET J, PALOMERA I, SALAT J, SOLE I (2004). Impact of freshwater input and landing of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) and sardine (*Sardina pilchardus*) in shelf water surrounding the Ebre (Ebro) River delta (north-western Mediterrean). *Fisheries Oceanography*. 13:102-110.

MALDONADO R, CALLE S (1998). Comportamiento de las precipitaciones en el sector del Lago Titicaca (Bolivia) durante “El Fenómeno El Niño”. *Bulletin de l'Institut Français d'Etudes Andines*. 27:699-707

MATHIEU L, ALLISON E, TINCH R (2000). Seeking patterns of population variability from Fish catch and stock biomass time series. 36 pp.

MYERS R (1998). When do environment-recruit correlations work?. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 8:285-305.

MONTES R, QUIÑONES R (1999). Efecto de la pluviosidad y del caudal de los ríos Bio-Bio e Itaca sobre los desembarques de las almejas *Protothaca thaca* y *Venus antiqua* en la zona centro-sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. 72:13-30.

NOTHCOTE T (2000). Ecological interactions among an Orestiid (Pisces: Cyprinodontidae) species flock in the littoral zone of Lake Titicaca. *Advances in Ecological Research*. 31:399-420.

PAREDES M, GONFIANTINI G (1999). Lake Titicaca: historian and current studies. *Water and Environment News*. International Atomic Energy Agency. Quarterly N° 8/9, December 1999. 6-8 pp.

PARRAGA D, CUBILLOS L, CORREA M (2010). Variaciones espacio-temporal de la captura por unidad de esfuerzo en la pesquería artesanal costera del pargo rayado *Lujtanus synagris*, en el Caribe colombiano y su relación con variables ambientales. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 45:77-88.

PRICE H, POTHOVEN S, MCCORNICK M, JENSEN P, FAHNENSTIEL G (2003). Temperature influence on commercial lake whitefish harvest in eastern lake Michigan. *Journal of Great Lakes Research*. 29:296-300.

PROYECTO ESPECIAL LAGO TITICACA (PELT) & CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO AGROPESQUERO (CEIPAD) (1994). Evaluación electroacústica de los recursos pesqueros en el lago Titicaca, Crucero 9312. Puno-Lima. 33 pp.

QUIÑONES R, MONTES R (2001). Relationship between freshwater input to the coastal zone and historical landings of the benthic/demersal fish *Eleginops maclovinus* in central-south Chile. *Fisheries Oceanography*. 10:311-328.

RICHERSON P, WIDMER C, KITTEL T (1977). The limnology of lake Titicaca (Perú-Bolivia), a large high altitude tropical lake. Univ. California, Davis, Inst. Ecology, 14:78 p, multigr.

ROCHE M, BOURGES J, CORTES J, MATTOS R (1991). Climatología e Hidrología de la Cuenca de lago Titicaca. In *El Lago Titicaca: Síntesis del Conocimiento Limnológico Actual*. Dejoux & A. Iltis (eds). OSTOM-HISBOL, La Paz, Bolivia. 584(Cap. IV.1): 83-104.

SÁEZ J, BLAZQUEZ L (1999). Estudio de las actividades y mejora de las condiciones de producción acuícola en el lago Titicaca (Perú). *Proyecto de apoyo al desarrollo del sector pesquero y acuícola del Perú*. Informe Técnico II. 111 pp.

SPENCER P, COLLIE J (1999). Patterns of population variability in marine fish stocks, with application to precautionary rebuilding projections of the Georges Bank Haddock. *Proceedings, 5<sup>th</sup> NMFS NSAW*. 120-121 pp.



VAUX P, WURTSBAUGH W, TREVINO H, MARIÑO L, BUSTAMANTE E, TORRES J, RICHERSON P, ALFARO R (1988). Ecology of the Pelagic Fishes of Lake Titicaca, Perú -Bolivia. *Biotopa*. 20:220-229.

WIRRMANN D (1991). Capítulo II Morfología y Batimetría. In *El Lago Titicaca: Síntesis del conocimiento limnológico actual*. Dejoux & A. Iltis (Eds). OSTOM-HISBOL, La Paz, Bolivia. Pág. 584:31-38.



## LEYENDA DE FIGURAS

### **FIGURA 1. Localización geográfica del Lago Titicaca, Perú – Bolivia.**

*FIGURE 1. Geographic location of the Titicaca Lake, Peru – Bolivia.*

### **FIGURA 2. Relación entre las capturas y biomásas totales anuales de ispi *Orestias ispi* en el Lago Titicaca.**

*FIGURE 2. Relationship between the catches and biomass annual of ispi *Orestias ispi* in the Titicaca lake.*

### **FIGURA 3. (a) Nivel del Lago Titicaca, (b) Precipitación anual y (c) desembarque de ispi (1981 – 2010). Serie de tiempo original (orig) y suavizada (suav).**

*FIGURE 3. (a) Level lake Titicaca, (b) year rainfall and (c) landing ispi (1981 – 2010). Original (orig) and smoothed (suav) time series.*

### **FIGURA 4. Serie de tiempo anual de captura ispi *Orestias ispi* por zonas del Lago Titicaca (1990 – 2010).**

*FIGURE 4. Annual time series of catch ispi *Orestias ispi* by area Lake Titicaca (1990 – 2010.)*

### **FIGURA 5. Función de correlación cruzada de los residuales de nivel del lago (a-d) y precipitación (e-f) con los residuales de captura de ispi por zonas del lago; la línea punteada indica el nivel significativo de correlación ( $\alpha = 0.05$ ); el retraso negativo está implicado en la relación ambiente – recurso.**

*FIGURE 5. Cross correlation function of residuals for annual level lake (a-d) and rainfall (e-f) with residuals landing ispi by zones of lake; the dotted line shows the significant correlation level ( $\alpha = 0.05$ ). Negative delay is involved in the environment – resource relationship.*

### **FIGURA 6. Descomposición de las series de tiempo de las variables usando un suavizador (STL). Entre 1981 – 2010 a) Nivel de Lago y b) Precipitación, y entre 1990 – 2010 c) Captura del ispi *Orestias ispi*.**

*FIGURE 6. Time series of environmental variables decomposition using smoothing (STL), from 1981-2010. a) level lake, b) Rainfall and between 1990 - 2010, c) landing series of ispi Orestias ispi.*

**FIGURA 7. Descomposición de las series de tiempo de las variables de captura usando un suavizador (STL), entre 1990 – 2010. a) Zona Norte, b) Bahía de Puno y c) Zona Sur.**

*FIGURE 7. Time series of landing variables decomposition using smoothing (STL), from 1981-2010. a) Northern Zone, b) Puno´s Bay and, c) Southern Zone.*

**FIGURA 8. Función de correlación cruzada de los residuales mensuales de nivel del lago (a-d) y precipitación (e-h) con residuales de captura del ispi *Orestias ispi* por zonas del lago, la línea punteada indica el nivel significativo de correlación con  $\alpha = 0.05$ ; lag: tiempo de retraso (meses).**

*FIGURE 8. Cross correlation function for residuals monthly level lake (a-d) and rainfall (e-h) with residuals landing ispi *Orestias ispi* by zones of lake; the dotted line shows the significant correlation level with  $\alpha = 0.05$ .*

**FIGURA 9. Áreas inundables en el Lago Titicaca productos de las fluctuaciones interanuales del nivel del lago a) periodo 1981-1986 b) periodo 1986-1996 c) periodo 1996 – 2003 y d) periodo 2003 – 2009.**

*FIGURE 9. Flooding areas in the Lake Titicaca products of interannual fluctuations from level of the lake a) period 1981-1986 b) period 1986-1996 c) period 1996 - 2003 and d) period 2003 – 2009.*

**FIGURA 10. Regresión lineal entre la captura anual del ispi *Orestias ispi* con el nivel del lago en diferentes años de desfase. (Izquierdo) Lago Titicaca, (centro) Bahía de Puno y (derecho) Zona Norte. Línea punteada corresponde a I.C. ( $\alpha=0.05$ ).**

*FIGURE 10. Linear regression between the annual catch of ispi *Orestias ispi* with the level of the lake in different years of lag. (Left) Lake Titicaca (center) with lag Puno and (right) North Zone. Dotted line correspond to confidence interval ( $\alpha=0.05$ ).*

**FIGURE 11. Regresión lineal entre la captura anual del ispi *Orestias ispi* con la precipitación en diferentes años de desfase. (Izquierdo) Lago Titicaca, (centro) Zona Sur y (derecha) Zona Norte. Línea punteada corresponde a I.C. ( $\alpha=0.05$ ).**

*FIGURE 11. Linear regression between the annual catch of ispi *Orestias ispi* to rainfall in different years of lag. (Left) Lake Titicaca (center) South Zone and (right) North Zone. Dotted line correspond to confidence interval ( $\alpha=0.05$ ).*

**FIGURA 12. Regresión lineal entre las biomásas anuales de ispi *Orestias ispi* con las biomásas anuales de pejerrey *Odontesthes bonariensis*.**

*FIGURE 12. Linear regression between the annual biomass ispi *Orestias ispi* with annual biomass argentine silverside *Odontesthes bonariensis*.*



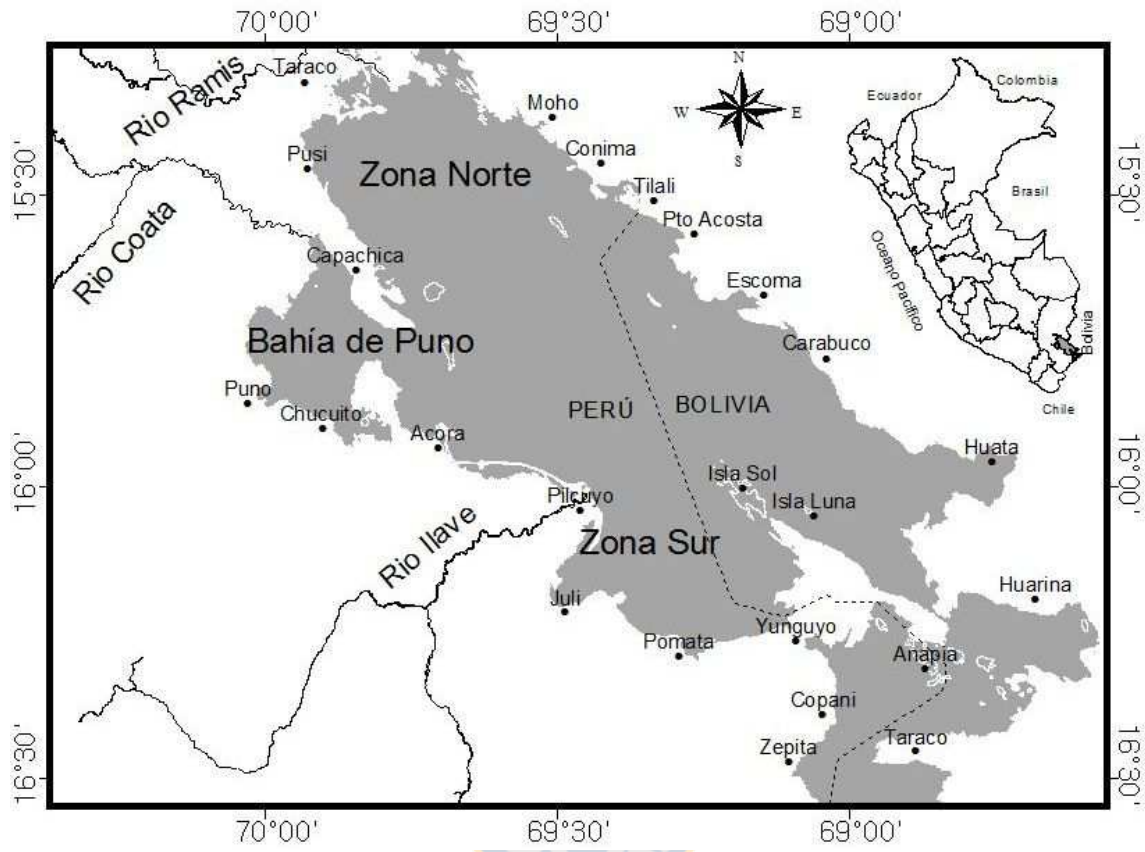


FIGURA 1. Localización geográfica del Lago Titicaca, Perú – Bolivia.

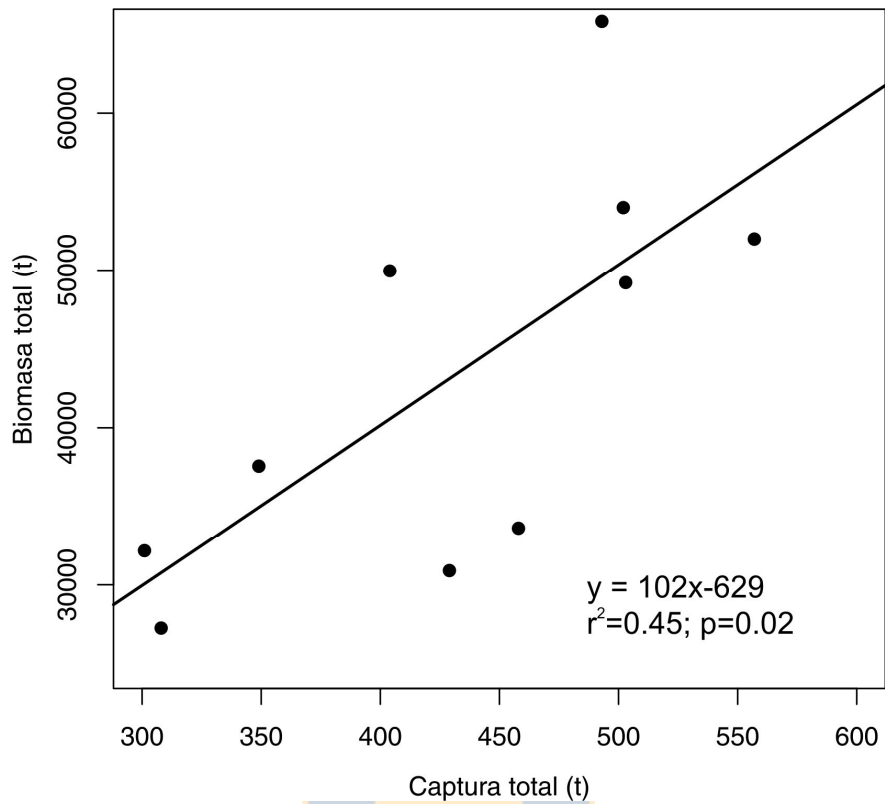
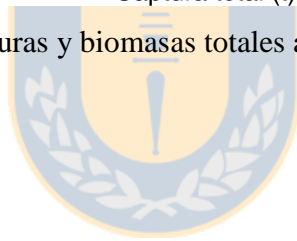


FIGURA 2. Relación entre las capturas y biomasa total anual de ispi *Orestias ispi* en el Lago Titicaca.



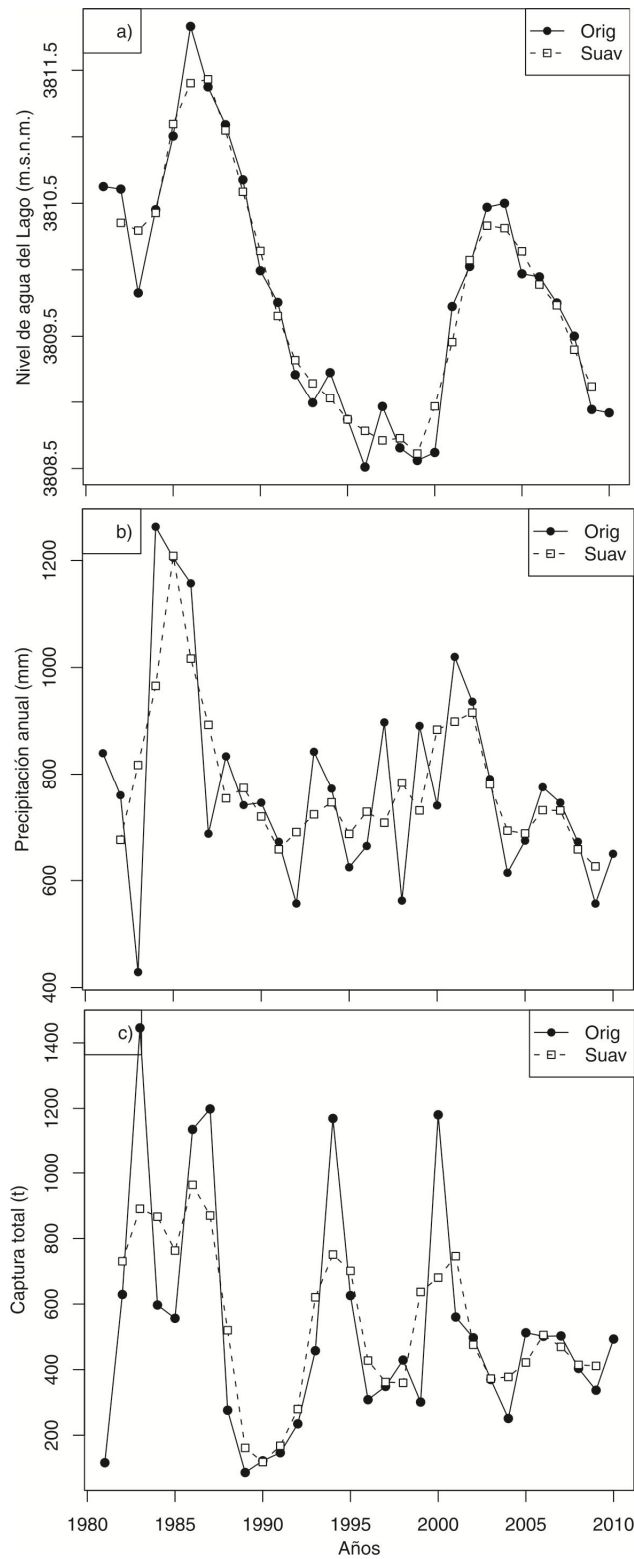


FIGURA 3. (a) Nivel del Lago Titicaca, (b) Precipitación anual y (c) desembarque de ispi *Orestias ispi* (1981 – 2010). Serie de tiempo original (orig) y suavizada (suav).

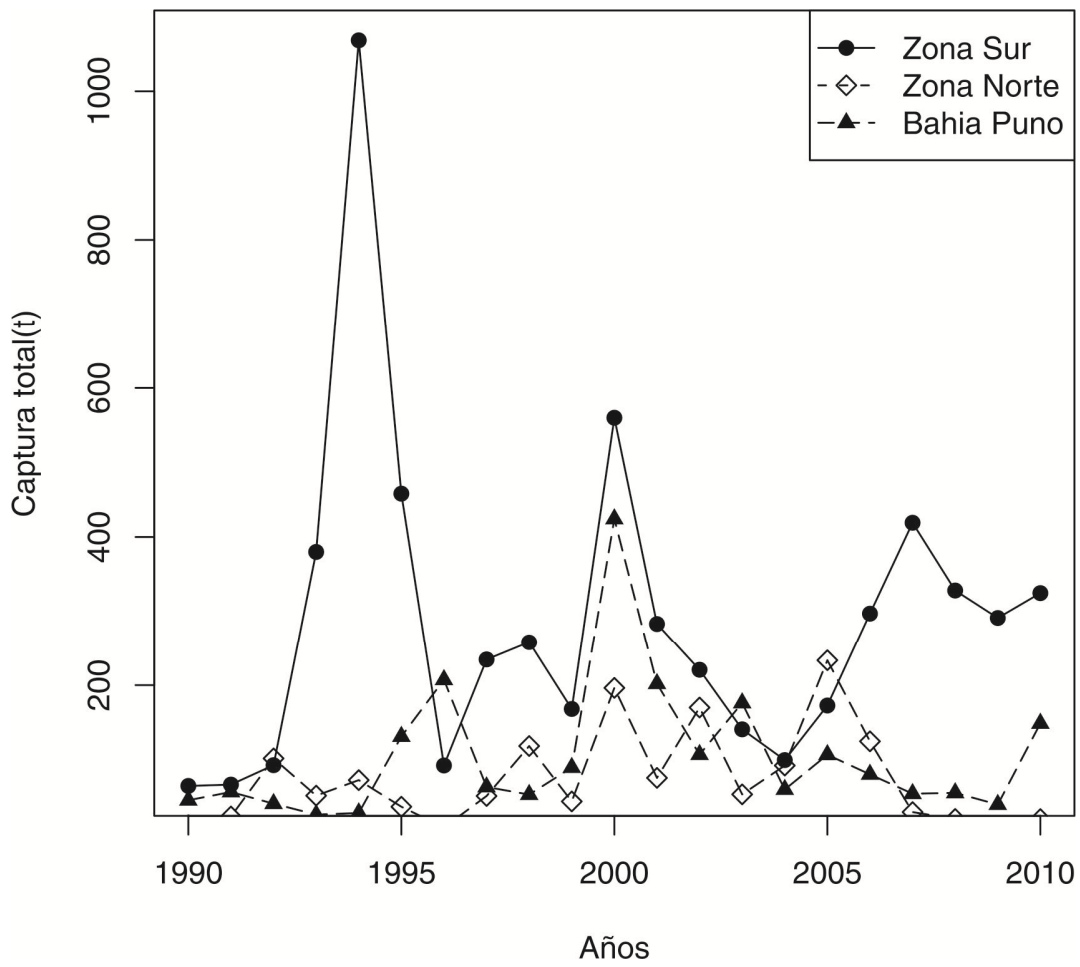


FIGURA 4. Serie de tiempo anual de captura ispi *Orestias ispi* por zonas del Lago Titicaca (1990 – 2010)



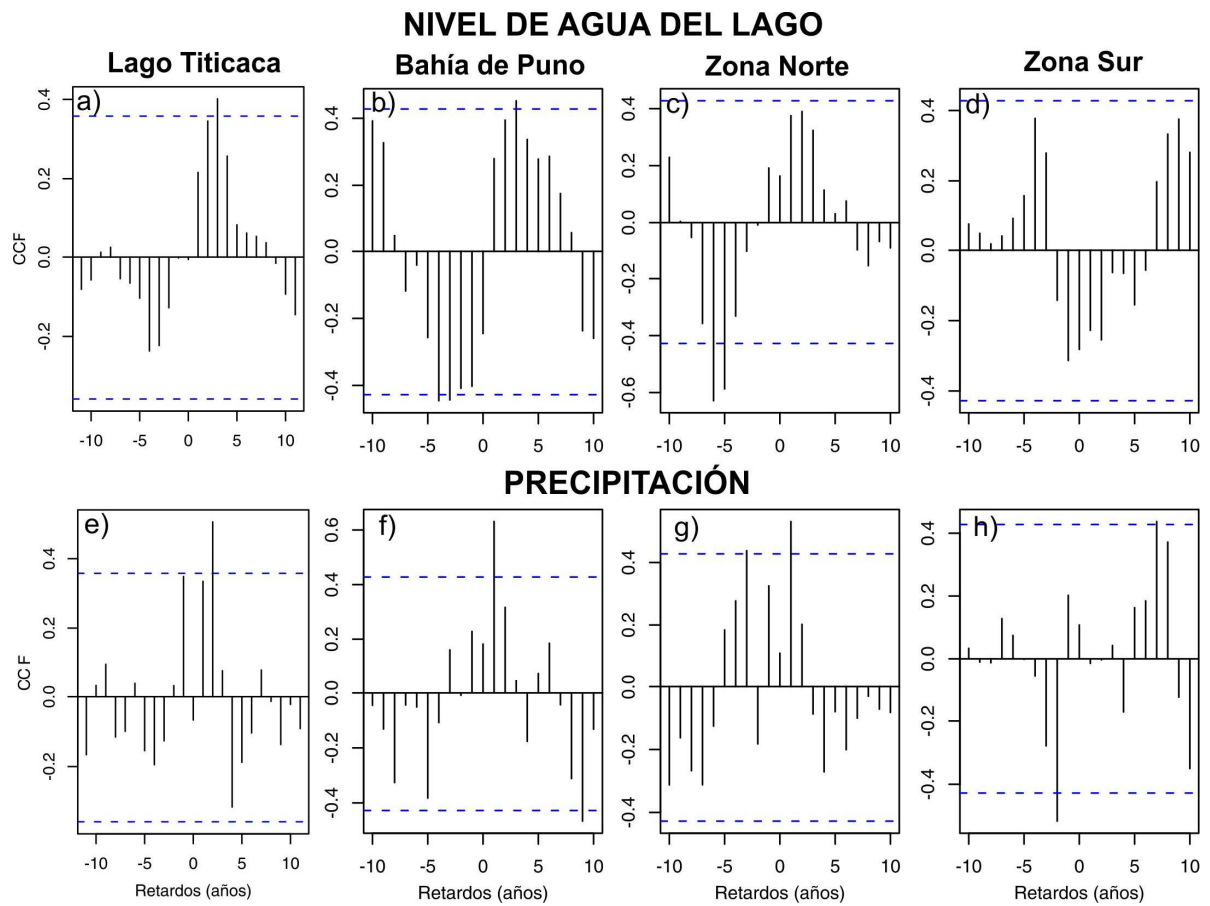


FIGURA 5. Función de correlación cruzada de los residuales de nivel del lago (a-d) y precipitación (e-f) con los residuales de captura de ispi por zonas del lago; la línea punteada indica el nivel significativo de correlación ( $\alpha = 0.05$ ); el retraso negativo está implicado en la relación ambiente – recurso.

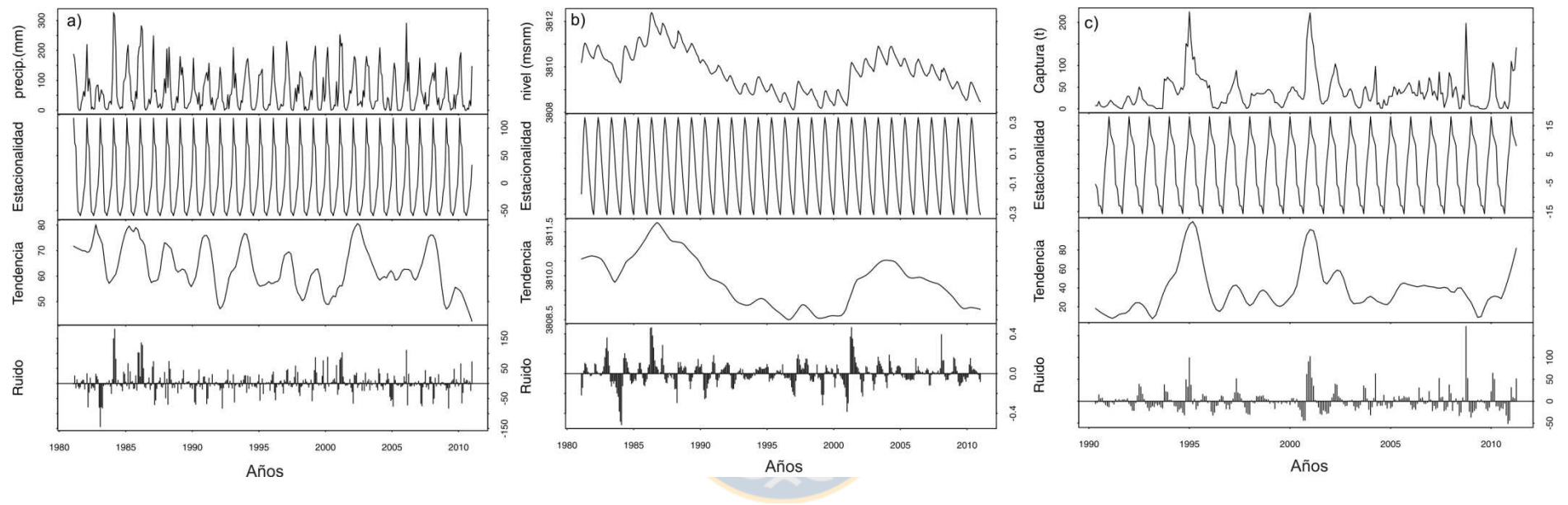


FIGURA 6. Descomposición de las series de tiempo de las variables usando un suavizador (STL). Entre 1981 – 2010 a) Nivel de Lago y b) Precipitación, y entre 1990 – 2010 c) Captura del ispi *Orestias ispi*.

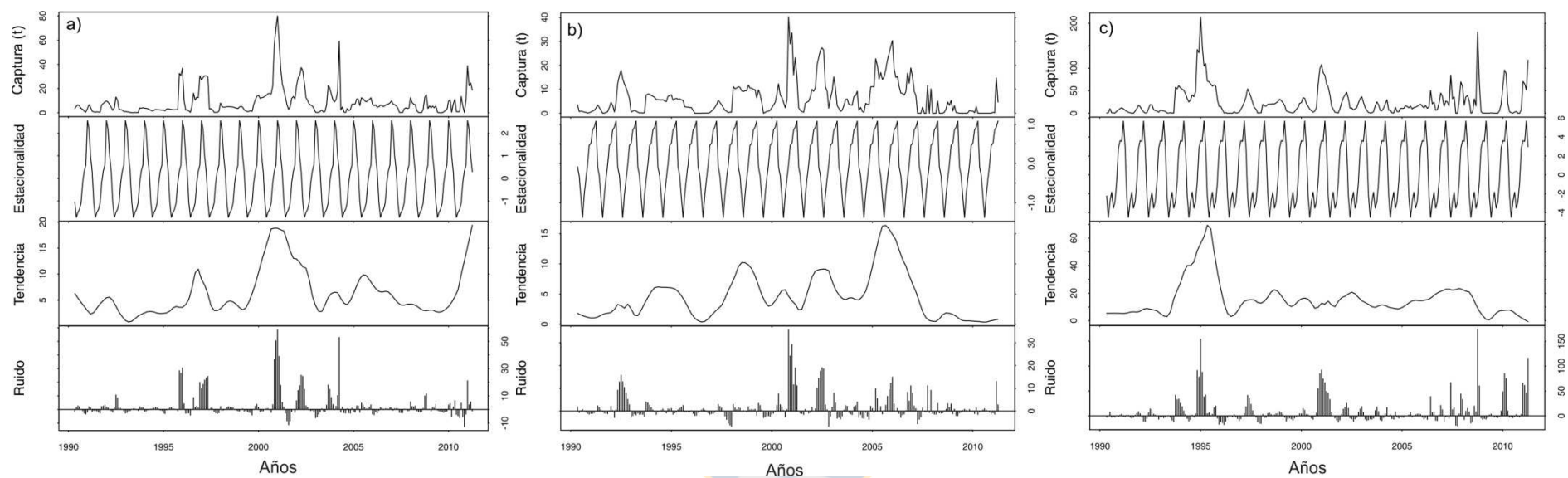


FIGURA 7. Descomposición de las series de tiempo de las variables de captura de ispi *Orestias ispi* usando un suavizador (STL), entre 1990 – 2010. a) Zona Norte, b) Bahía de Puno y c) Zona Sur.

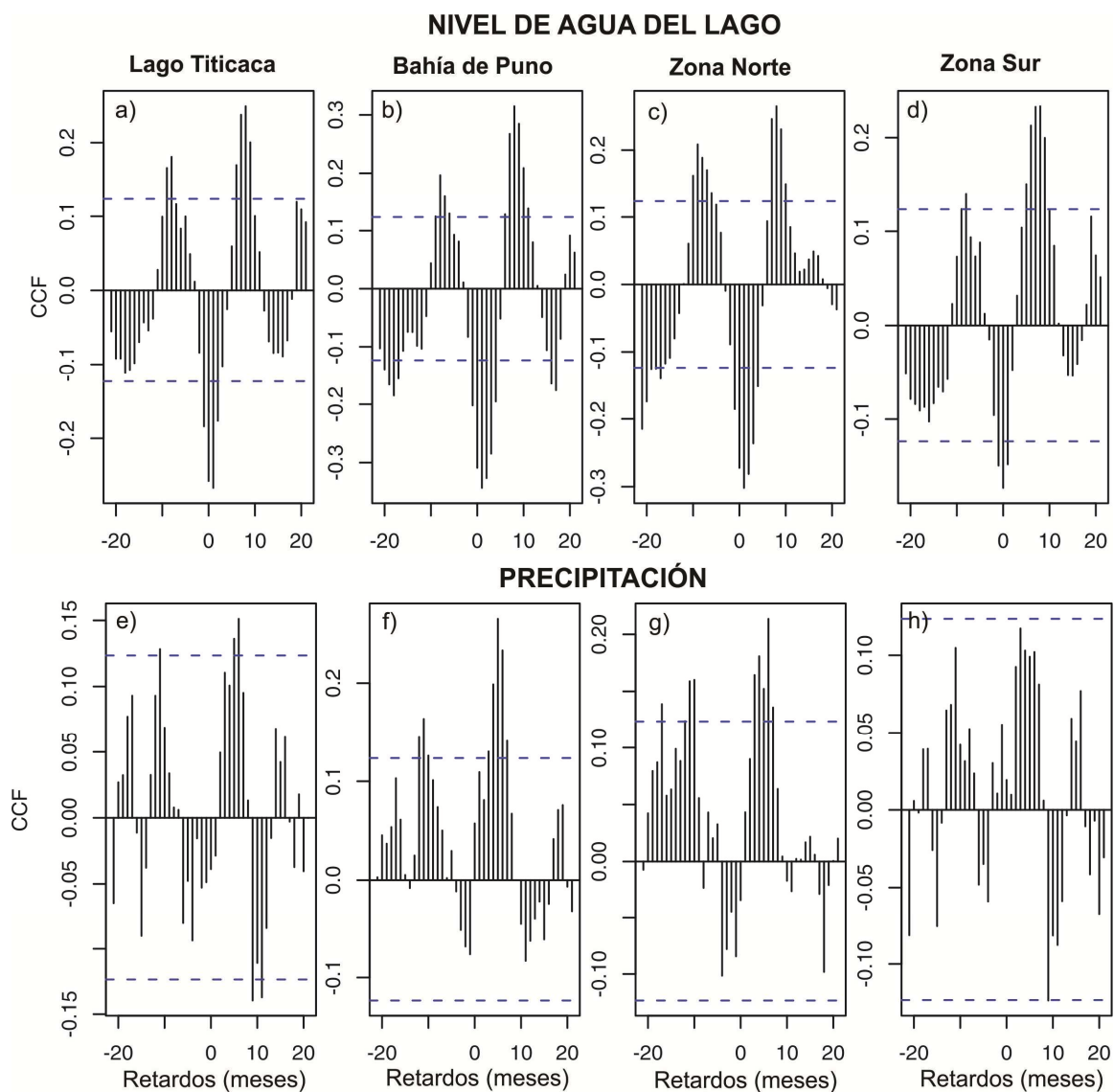


FIGURA 8. Función de correlación cruzada de los residuales mensuales de nivel del lago (a-d) y precipitación (e-h) con residuales mensuales de captura del ispi *Orestias ispi* por zonas del lago, la línea punteada indica el nivel significativo de correlación con  $\alpha = 0.05$ ; lag: tiempo de retraso (meses).

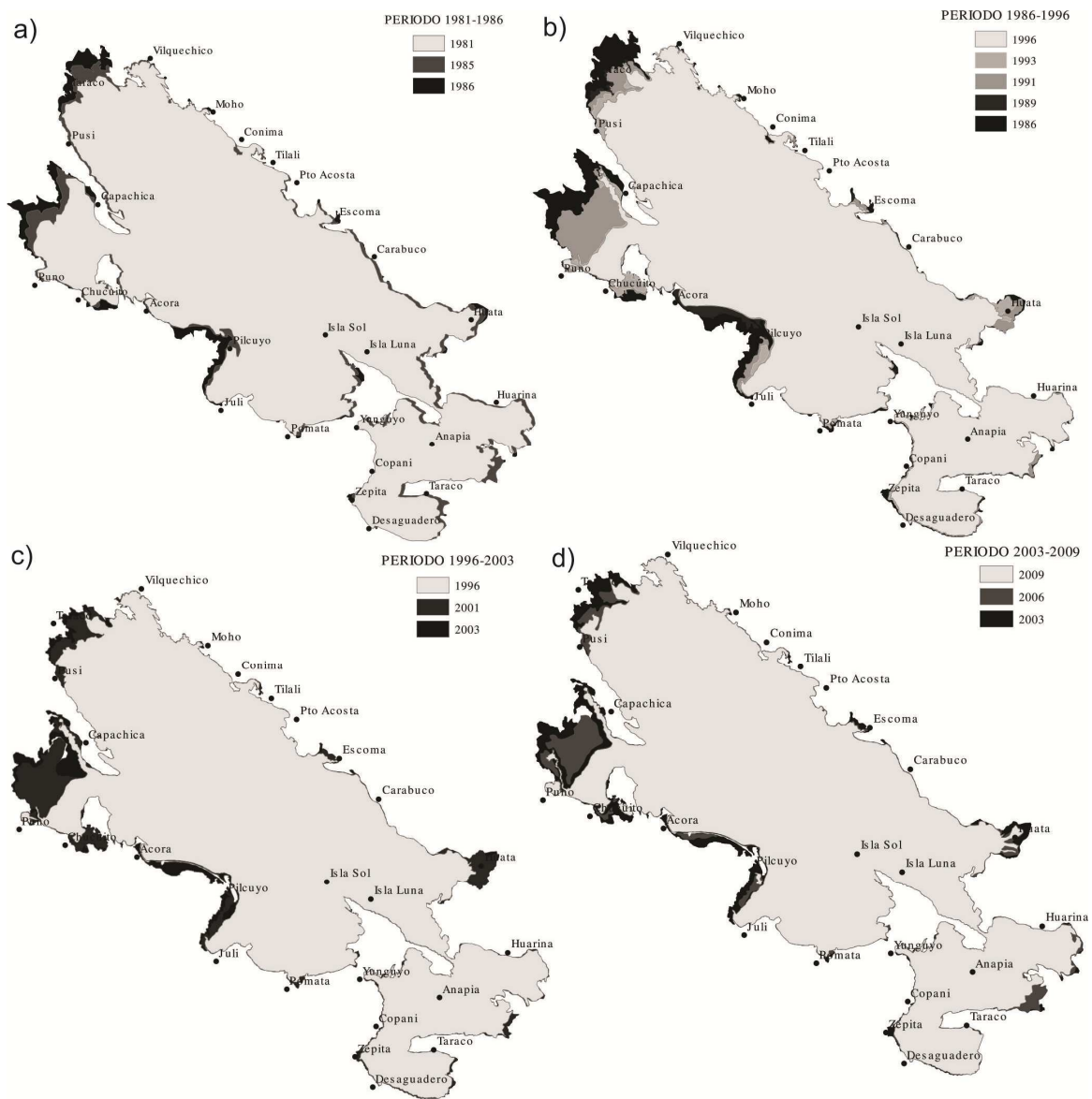


FIGURA 9. Áreas inundables en el Lago Titicaca productos de las fluctuaciones interanuales del nivel del lago a) periodo 1981-1986 b) periodo 1986-1996 c) periodo 1996 – 2003 y d) periodo 2003 – 2009

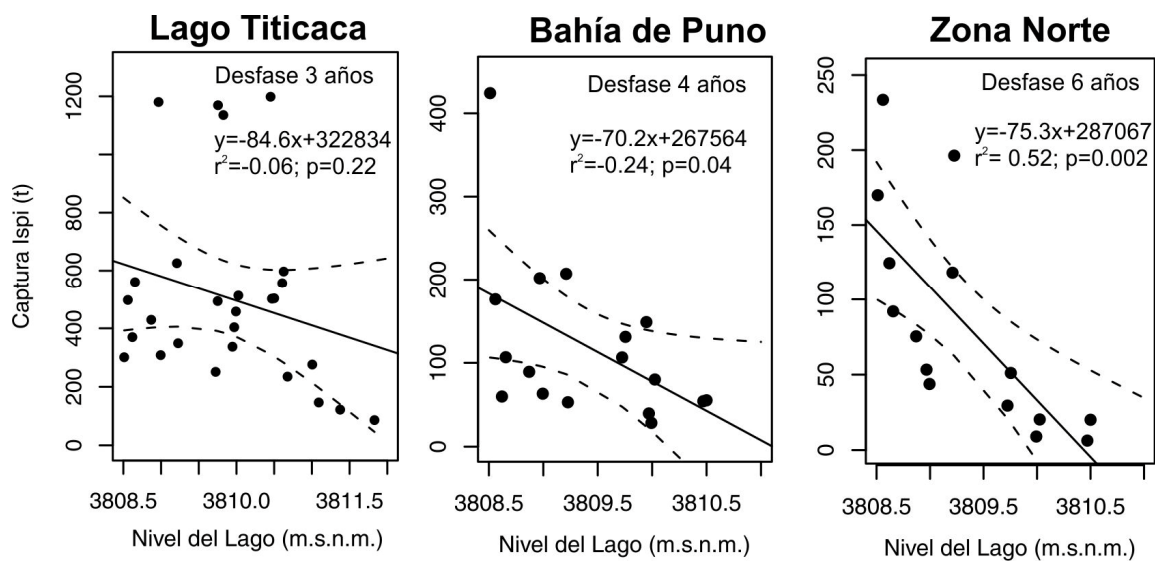


FIGURA 10. Regresión lineal entre la captura anual del ispi *Orestias ispi* con el nivel del lago en diferentes años de desfase. (Izquierdo) Lago Titicaca, (centro) Bahía de Puno y (derecho) Zona Norte. Línea punteada corresponde a I.C. ( $\alpha=0.05$ ).

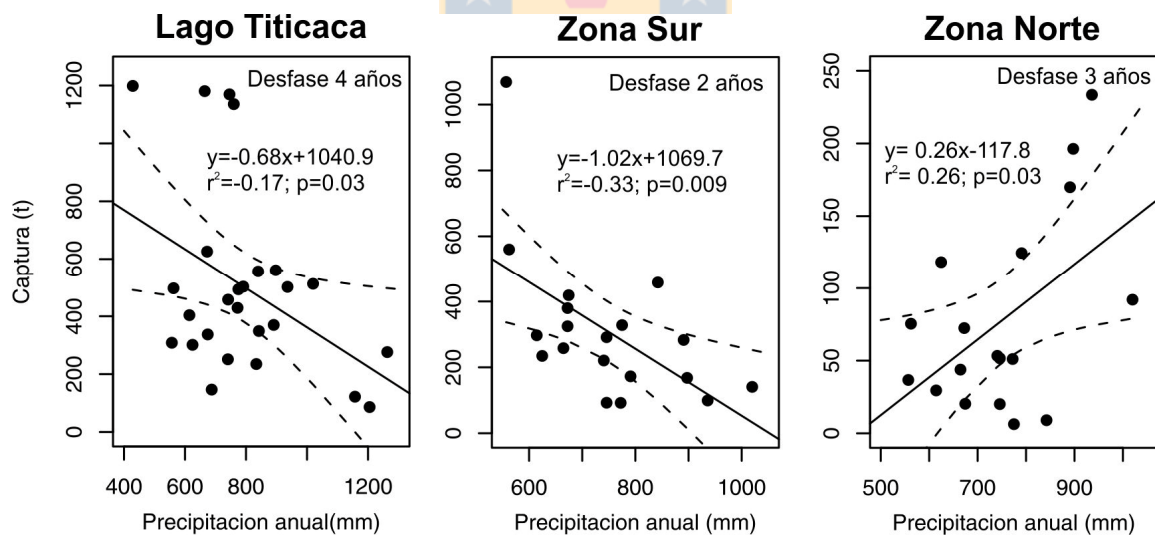


FIGURA 11. Regresión lineal entre la captura anual del ispi *Orestias ispi* con la precipitación en diferentes años de desfase. (Izquierdo) Lago Titicaca, (centro) Zona Sur y (derecha) Zona Norte. Línea punteada corresponde a I.C. ( $\alpha=0.05$ ).

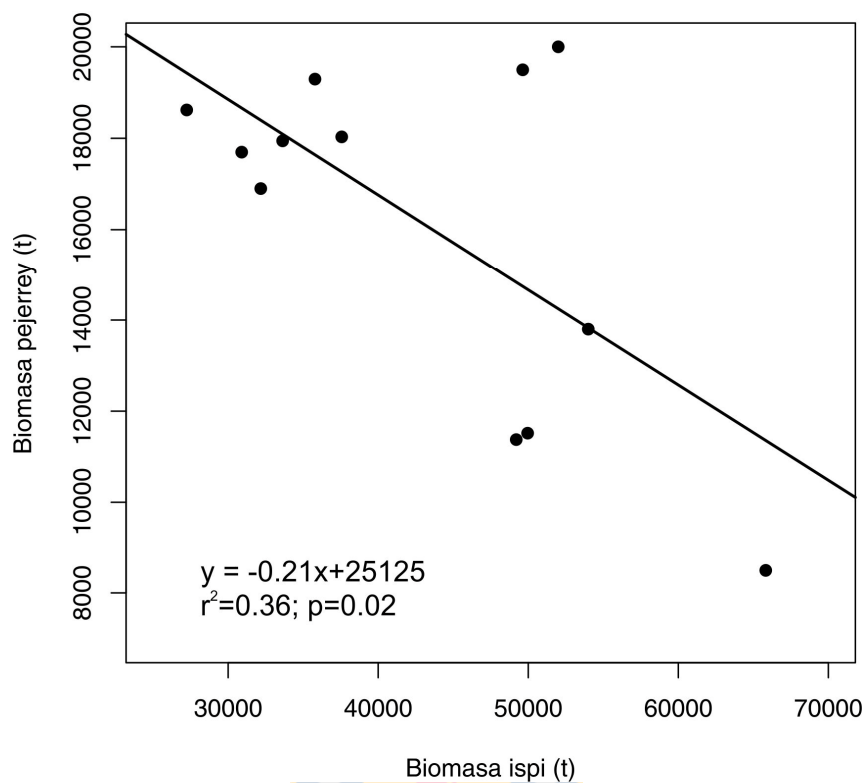


FIGURA 12. Regresión lineal entre las biomásas anuales de ispi *Orestias ispi* con las biomásas anuales de pejerrey *Odontesthes bonariensis*.

**TABLA 1. Especies de mayor captura en la pesquería artesanal del Lago Titicaca entre 1981 y 2010**

TABLE 1. Species mostly landing in the small scale fishery of the Lake Titicaca, between 1981 and 2010

| Nombre Científico                       | Captura total | Captura total |
|---|---------------|---------------|
|   | (t)           | (%)           |
| Pejerrey <i>Odontesthes bonariensis</i> | 46178         | 43.4          |
| Ispi <i>Orestias ispi</i>               | 12460         | 11.7          |
| Mauri <i>Trichomycterus rivulatus</i>   | 1863          | 1.8           |
| Trucha <i>Oncorhynchus mykiss</i>       | 1548          | 1.5           |
| Boga <i>Orestias pentlandii</i>         | 926           | 0.9           |
| Otros 6 spp. (Carachis)                 | 43358         | 40.8          |
| <b>Total</b>                            | <b>106333</b> | <b>100.0</b>  |

## **DISCUSIÓN GENERAL**

Los resultados demuestran la existencia de correlaciones desfasadas y estadísticamente significativas entre las fluctuaciones del nivel de agua del lago y precipitación sobre las capturas del pejerrey e ispi en el Lago Titicaca.

Las fluctuaciones del nivel de agua del Lago Titicaca están moduladas principalmente por los regímenes de precipitación que se presentan en el altiplano peruano (Roche et al. 1991; Paredes & Gonfiantini 1999; Garreaud & Aceituno 2001). A una escala anual, las fluctuaciones del nivel de agua del lago del son modulados por el balance existente entre los aportes y las pérdidas en agua, siendo en abril, el periodo del máximo nivel anual del lago, al final de periodo de lluvias y del aporte de los ríos tributarios, y el mínimo ocurre en diciembre, justo antes de las lluvias del año siguiente (Roche et al. 1991). A escala interanual, la correlación cruzada indica que la precipitación influye significativamente en el nivel del lago hasta después de dos años; mientras a una escala mensual influye durante dos a tres meses. La autocorrelación en el nivel de agua del lago confirman que las fluctuaciones anuales que se presentan en el lago productos de las lluvias que ocurren con una mayor intensidad entre diciembre y febrero (Garreaud & Aceituno 2001).

Se observó también que el nivel de agua del lago presenta fluctuaciones de baja frecuencia que podría estar relacionado con las fluctuaciones de El Niño-Oscilación del Sur. Según, Garreaud & Aceituno (2001) y Garreaud et al. (2003) las lluvias interanuales en el altiplano están relacionadas con el índice de oscilación del sur – El Niño (ENSO), esto es explicado por el calentamiento (enfriamiento) generalizado de la troposfera tropical durante las fases negativas (positivas) del ENSO y la asociación fuerte (débil) sobre el oeste de los Andes central. Entre 1981 y 2010 en el altiplano peruano – boliviano se presento dos eventos del El Niño muy intensos en 1982-83 y 1997-1998, las cuales coinciden con periodos de baja precipitación anual (Maldonado & Calle 1998).

Existen otros factores ambientales que modulan las fluctuaciones del nivel de agua del Lago Titicaca, tales como el aporte de los ríos y arroyos, con descargas máximos al lago entre enero a abril y el mínimo en época seca (junio – julio) (Roche et al. 1991). Asimismo, la remoción de aguas del Lago Titicaca se debe a la evaporación, que es el



responsable del balance del agua y posiblemente el primero que muestra la variabilidad interanual que representa el 91% (Roche et al. 1991; Paredes & Gonfiantini 1999).

### **Relación del nivel de agua del lago y la precipitación sobre la abundancia y disponibilidad del pejerrey**

Al establecer la relación entre las capturas anuales de pejerrey y el nivel del lago, desfasadas en tres años, se encontró que la relación es más significativa en el periodo 1981-2004, y que esta relación se deteriora al considerar las capturas de los últimos seis años (2005-2010), y que son las más bajas de la serie. Al realizar las correlaciones, las fluctuaciones del nivel de agua por zonas del lago, se determinó un efecto indirecto para la zona Sur al tercer año de desfase y un efecto directo al cuarto año de retraso para la zona Norte (Fig. 10 y 11). El cambio en la correlación sea consecuencia de la importante disminución de la abundancia o de productividad de esta especie, ya que las capturas de pejerrey comenzaron a ser más bajas que lo esperado. Aparentemente, la leve recuperación de las capturas de pejerrey en 2007 y 2008 se debe al desembarque de la zona Norte (Huancané) principalmente (40.2%), lo que demuestra la virtual ausencia de pejerrey en otros sectores. El Instituto del Mar del Perú (IMARPE), a través de la evaluación hidroacústica en 2010, determinó un decremento de 57.5% de la biomasa respecto de lo registrado en 1985.

En los residuales mensuales, no se encontró una correlación significativa entre el nivel y las capturas, lo que se interpreta que a una escala estacional la disponibilidad del pejerrey no es afectada por el nivel de agua del lago (Fig. 13). Más bien, la ampliación de la zona litoral por procesos de crecida del nivel de agua estaría más bien favoreciendo el éxito del reclutamiento del pejerrey principalmente por dos mecanismos: (i) por la disponibilidad de alimento natural (fitoplancton y zooplancton) y (ii) mediante el refugio frente a depredadores.

Leviel & Orlove (1990) indican que cuando disminuye el nivel de agua del lago, los campesinos que habitan en la zona litoral tienden a aprovechar esta zona para realizar cultivo de tubérculos y hortalizas, para lo cual utilizan productos fertilizantes naturales que aportan de materia orgánica (estiércol), convirtiéndose en áreas ricas en nutrientes; cuando

el lago recupera su nivel, el cual es aprovechado por el fitoplancton y el zooplancton, que es alimento para los alevinos y juveniles del pejerrey. Al mismo tiempo, la zona litoral actúa como una zonas de refugio para los primeros estadios de vida contra los peces grandes (pejerrey adulto, trucha y *Orestias* spp). Según Grossman (2001) indica que el pejerrey adulto (>35 cm LS) es carnívoro con tendencia al canibalismo sobre los peces pequeños de la misma especie.

Además, la zona litoral presenta condiciones ambientales favorables, principalmente la temperatura del agua que en la época de reclutamiento (noviembre – marzo) fluctúa entre 16 y 20 °C (IMARPE 2009) con presencia de grandes cantidades de alevinos y juveniles en la zona litoral, principalmente pejerrey entre tallas de 2.5 y 12.5 cm LT (IMARPE 2010).

### **Relación del nivel de agua del lago y la precipitación sobre las capturas del ispi**

A escala anual, la asociación entre el nivel de agua del lago y las capturas del ispi fueron negativas, a excepción de la Zona Sur donde la relación tiende a ser positiva. Estas relaciones fueron desfasadas en el tiempo, con un máximo retraso de 4 (Bahía de Puno) a 5 años (Zona Norte). Mientras a una escala anual, la asociación de las fluctuaciones del nivel de agua del lago fue inmediato (1 mes) con la disponibilidad del ispi a la pesca y después del 8º y 9º mes, está se revierte el cual corresponde al periodo de reproducción del ispi en el lago (IMARPE 2010). Cabe destacar que el ispi tiene como hábitat la zona pelágica del lago (> 50 m profundidad) y que se aproxima a la zona litoral solamente por procesos reproductivos, donde son capturados por los pescadores artesanales con red de cortina, principalmente (DIREPRO 2010).

En consecuencia, las fluctuaciones del nivel del lago no tienen efecto inmediato en la abundancia del ispi más bien estaría afectando sobre su disponibilidad del ispi a nivel estacional (mensual). En efecto, según los registros de comportamiento de los recursos pesqueros en la columna de agua en la Zona Norte del lago, se determinó concentraciones superficiales de ispi en época de invierno (10 y 40 m) y en primavera mas profundizados entre 20 y 80 m (IMARPE 2010), el cual es corroborado con los estudios realizados por Vaux et al. 1988. Además, se observó importantes concentraciones de ispi de tipo denso en

la zona litoral (< 50 m) en la estación de primavera, el cual correspondería al periodo reproductivo más importante (setiembre – octubre) (IMARPE 2010).

El efecto de la precipitación interanual sobre la abundancia del ispi fue negativo para todas las zonas del lago a excepción de la Zona Norte, con un desfase significativo de 2 a 4 años. En la escala local la relación con las lluvias fue significativa y positiva al 11<sup>o</sup> mes en todos los casos. El desfase de tiempo a una escala interanual que ocurre entre la precipitación y las capturas de ispi parece ser excesivo considerando que el ispi es una especie con ciclo de vida corto y de pequeño tamaño. Por lo tanto, esta relación puede ser indirecta modulada por un factor adicional.

### **Interacción entre el pejerrey e ispi en el Lago Titicaca**

Según Northcote (2000) en la zona litoral se produce una interacción ecológica de los primeros estadios de vida de los peces nativos y el pejerrey. El cual es corroborado con los estudios que realizó Vaux et al. (1988) e IMARPE (2010) donde determinan la presencia de una diversidad de peces en la zona litoral con fines de alimentación y refugio. Sin embargo, a medida que se desarrollan los peces, en especial el pejerrey e ispi realizan migraciones a la zona pelágica del lago por motivos de desarrollo y alimentación (Vaux et al. 1988; IMARPE 2009). Según estudios de contenido estomacal de pejerreyes adultos (>20 cm LT) se ha encontrado restos de ispi y huevos de peces (IMARPE 2009), por lo que se infiere que el pejerrey adulto es un predador sobre las poblaciones de ispi en el lago.

Los máximos desfases de la relación de las capturas del ispi en relación con el nivel de agua del lago y precipitación están asociados a la relación del nivel de agua sobre las capturas del pejerrey. En el primer capítulo se estableció que las capturas del pejerrey presentaron una relación positiva y significativa con el nivel de agua de agua del lago después de tres años y una relación débil no significativa con la precipitación al cuatro año. Al parecer, la ampliación de la zona litoral por procesos de crecida del nivel de agua del lago estaría más bien favoreciendo el éxito del reclutamiento del pejerrey principalmente por dos mecanismos: por la disponibilidad de alimento natural y refugio frente a depredadores. Por lo tanto, se plantea que la relación indirecta entre la precipitación y nivel de agua del lago y las capturas de ispi después de 3-5 años podría ser a través del efecto

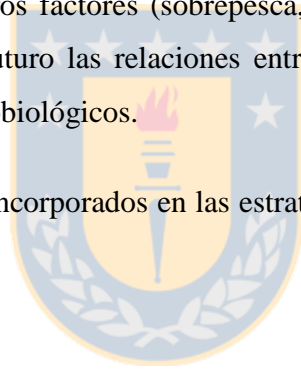
directo sobre el pejerrey, cuya abundancia se vería favorecida. De esta manera, las fluctuaciones de la captura del ispi se explicarían más bien por las variaciones de la abundancia del pejerrey.

En consecuencia, en la escala estacional cambios en el nivel de agua del lago afectarían negativamente la disponibilidad del ispi a la pesca con un mes de desfase en todas las zonas. Esto se revierte positivamente después de 8-9 meses probablemente potenciado por la migración hacia el litoral con fines reproductivos. En la escala interanual, si bien se establecen relaciones desfasadas entre 4-5 años entre los factores ambientales y las capturas de ispi, se establece que estas relaciones son indirectas probablemente moduladas por la predación del pejerrey, cuyo reclutamiento es favorecido por el aumento del nivel de agua del lago. A su vez, de la relación de la serie histórica de biomásas de ispi y pejerrey para el periodo 1985 y 2010 se determina una relación negativa y significativa ( $r^2 = -0.45$ ;  $p < 0.0004$ ) lo que indica que las disminuciones (aumento) de la poblaciones de ispi influyen en el aumento (disminución) de la poblaciones del pejerrey (Fig. 14). Además, a la disminución de la poblaciones del pejerrey se adiciona el incremento de esfuerzo de pesca en los últimos años (IMARPE 2010), favoreciendo indirectamente a la abundancia de ispi.

## CONCLUSIONES

1. Los resultados muestran la existencia de correlaciones desfasadas y estadísticamente significativas entre las fluctuaciones del nivel de agua del lago y precipitación sobre las capturas del pejerrey e ispi en el Lago Titicaca.
2. Las fluctuaciones en el nivel de agua del Lago Titicaca responden al régimen de precipitación que se presentan en el altiplano peruano, son de más baja frecuencia, y moduladas por los regímenes El Niño - Oscilación del Sur. El aumento del nivel de agua del lago podría determinar un aumento de la abundancia de pejerrey después de tres años, postulándose que tal aumento favorece al reclutamiento. A su vez, un incremento en la abundancia de pejerrey tendría impacto desfavorable en la abundancia de ispi por predación; y por lo tanto, esta última especie se vería desfavorecida indirectamente por los aumentos del nivel de agua del lago.

3. Se postula que el éxito del reclutamiento del pejerrey por efecto del aumento del nivel de agua lago, podría estar asociado con tres mecanismos: la disponibilidad de alimento natural y el refugio frente a depredadores.
4. Cambios en el nivel de agua del lago en la escala estacional no se correlacionan con las capturas de pejerrey, las que más bien están asociadas con la época reproductiva (agosto – setiembre) y de reclutamiento (enero – abril).
5. Los cambios en el nivel de agua del lago sobre las capturas del ispi son desfavorables con un mes de retraso, revirtiéndose esta situación después de 8-9 meses en forma positiva probablemente potenciado por la migración hacia el litoral con fines reproductivos (setiembre – noviembre).
6. Se recomienda investigar otros factores (sobrepesca, eutrofización, cambio climático) que pudieran alterar en el futuro las relaciones entre el nivel de agua del lago y las capturas de los recursos hidrobiológicos.
7. Estos resultados pueden ser incorporados en las estrategias de manejo de las pesquerías del pejerrey e ispi.



## LITERATURA CITADA

ALHEIT J, BAKUN A (2010). Population synchronies within and between ocean basins: apparent teleconnections and implications as to physical-biological linkage mechanisms. *Journal of Marine Systems*. 79:267–285.

ALLEN M, TATE W, TUGEND K, ROGERS M, DOCKENDORF K (2003). Effects of water-level fluctuations on the fisheries of lake Tarpon. *Final Report*. Department of Fisheries and Aquatic Science. The University of Florida. 55 pp.

ANTUNEZ DE MAYOLO R (1992). Recurrencia del Fenómeno “El Niño” y el Titicaca. *Paleo ENSO Record Intern. Sympo*, (Lima, March 1992).

ARTEAGA F, ZURITA G, VEGA R, MORALES S, SANTIVAÑEZ R, RAMOS A, SAAVEDRA S (2002). Desarrollo de programas de pesca artesanal en el ámbito Boliviano. *Proyecto PER/98/G-32 Conservación de la biodiversidad en la cuenca del lago Titicaca. Subcontrato 24.24*. Informe Final. ([www.pnud.bo/biodiversidadtdps/proyecto](http://www.pnud.bo/biodiversidadtdps/proyecto)).

BROCKWELL P, DAVIES R (2002). Introduction to times series and forecasting. Segunda Edición. Springer. New York. 434 pp.

CALSINA C, SALAS R, LIMACHI J, TAMB E (2001). Evaluación del potencial de especies introducidas en el ámbito Boliviano del sistema TDPS. *Proyecto PER/98/G-32 Conservación de la biodiversidad en la cuenca del lago Titicaca. Subcontrato 24.25*. Informe Final. 55 pp. ([www.pnud.bo/biodiversidadtdps/proyecto](http://www.pnud.bo/biodiversidadtdps/proyecto)).

CLEVELAND R, CLEVELAND W, MCRAE J, TERPENNING I (1990). STL: a seasonal-trend decomposition procedure based on Loess. *Journal of Official Statistics*. 6:3–73.

CUBILLOS L, FUENZALIDA R (1990). El “periodo cálido de 1976 – 1984” y sus efectos en los desembarques de algunos peces de importancia comercial de la zona norte de Chile. *Ciencia y Tecnología del Mar*, CONA N° 14. Valparaíso Chile. ISSN 0716-2006

DEGUEN M, HUERTA R, APAZA F, VILCHERREZ J, GALVES J, MARTINEZ V (2002). Evaluación del potencial de promoción de pesca de especies introducidas. *Proyecto PER/98/G-32 Conservación de la biodiversidad en la cuenca del lago Titicaca*.

*Subcontrato 24.25. Informe Final. 168 pp. (URL:<http://www.pnud.bo/biodiversidadtdps/proyecto>).*

DÍAZ J, QUIÑONES R (2008). Relationship of precipitation, freshwater input, and sea level height with the abundance of the white shrimp (*Litopenaeus occidentalis*; Street, 1871) off Buenaventura, eastern tropical Pacific. *Fisheries Research*. 92:148–161.

DIRECCIÓN REGIONAL DE PRODUCCIÓN (2010). Diagnóstico situación de la actividad pesquera en el Lago Titicaca. Informe Interno. Puno, Perú. 34 pp.

DRINKWATER K, MYERS R (1987). Testing predictions of marine fish and shellfish landings from environmental variables. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 44:1568-1573.

DRINKWATER K (1986). On the role of freshwater outflow on coastal marine ecosystems- a workshop summary. En: Skreslet S (ed). pp. 429-438. Springer-Verlag, Berlin.

DRINKWATER K, HARDING G, GAUTHIER D (1991). The relationship of Quebec lobster landing to freshwater runoff and wind Storm. pp. 179-187. In: J.-C. Theriault (ed) *The Gula of St. Lawrence: small ocean or big estuary?*. *Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences*. 113.

FLORES S (2010). Estimación de edad y crecimiento del pejerrey *Odontesthes bonariensis*, mediante la fórmula de Von Bertalanffy en cuatro zonas del Lago Titicaca”. Tesis, Universidad Nacional del Altiplano, Puno. 120 pp.

FRÉON P, BOUCHON M, MULLON C, GARCÍA C, ÑIQUEN M (2008). Interdecadal variability of anchoveta abundance and overcapacity of the fishery in Peru. *Progress in Oceanography*. 79:401–412

GARREAUD R, ACEITUNO P (2001). Interannual Rainfall Variability over the South American Altiplano. *Journal of Climate*. 14:2279-2789.

GARRAEAUD R, VUILLE M, CLEMENTS A (2003). The climate of the Altiplano: Observed current conditions and past change mechanisms. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 3054:1-18

GATICA C, QUIÑONEZ R, FIGUEROA D, WIFF R, NAVARRO E, DONOSO M (2009). Asociación entre la Corriente de Deriva de los Vientos del Oeste y la abundancia relativa del pez espada (*Xiphias gladius*) frente a la costa de Chile. *Latin American Journal of Aquatic Research*. 38:97-105.

GROSSMAN F (2001). Fundamentos Biológicos, Económicos y Sociales para una Correcta Gestión del Recurso Pejerrey. Editorial Astyanax. Buenos Aires, Argentina. 246 pp.

HAHMENBERGER M (2003). Summertime precipitation variability and atmospheric circulation over the south American Altiplano: Effects of lake Titicaca and salar de Uyuni. Oklahoma Weather Center Research Experiences for Undergraduates Program, Summer. 10 pp.

ILTIS A, CARMOUZE J, LEMOALLE J (1991). V.I. Características físico-químico del agua. In *El Lago Titicaca: Síntesis del Conocimiento Limnológico Actual*. C. Dejoux & A. Iltis (Eds). OSTOM-HISBOL, La Paz, Bolivia. 584(Cap. IV.1): 107-113.

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ (2007). Anuario Científico Tecnológico IMARPE. Enero – Diciembre. Volumen 7. ISSN 0378-7702. 168 pp.

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ (2008). Anuario Científico Tecnológico IMARPE. Enero – Diciembre. Volumen 8. ISSN 1813-2103. 176 pp.

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ (2009). Anuario Científico Tecnológico IMARPE. Enero – Diciembre. Volumen 9. ISSN 1813-2103. 182 pp.

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ (2010). Anuario Científico Tecnológico IMARPE. Enero – Diciembre. Volumen 10. ISSN 1813-213. 195 pp.

LEIRA M, CANTONATI M (2008). Effects of water-level fluctuations on lake: an annotated bibliography. *Hydrobiologia* 613:171-184.



LEVIEL D, B ORLOVE (1990). Local control of aquatic resources: Community and Ecology in Lake Titicaca, Peru. *American Anthropologist*. 92:362-382

LLORET J, PALOMERA I, SALAT J, SOLE I (2004). Impact of freshwater input and landing of anchovy *Engraulis encrasicolus* and sardine *Sardina pilchardus* in shelf water surrounding the Ebre (Ebro) River delta (north-western Mediterrean). *Fisheries Oceanography*. 13(2):102-110.

LOUBENS G, F OSORIO (1991). Especies introducidas: *Basilichthyes bonariensis*. In *El Lago Titicaca: Síntesis del Conocimiento Limnológico Actual*. Dejoux & A. Iltis (eds). OSTOM-HISBOL, La Paz, Bolivia. 584(Cap. VI.5b): 431-449.

MALDONADO R, CALLE S (1998). Comportamiento de las precipitaciones en el sector del Lago Titicaca (Bolivia) durante “El Fenómeno El Niño”. *Bulletin de l'Institut Français d'Etudes Andines*. 27:699-707

MATHIEU L, ALLISON E, TINCH R (2000). Seeking patterns of population variability from Fish catch and stock biomass time series. 36 pp.

MYERS R (1998). When do environment-recruit correlations work?. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 8:285-305.

MINISTERIO DE LA PRODUCCIÓN, GOBIERNO REGIONAL DE PUNO Y AGENCIA ESPAÑOLA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL PARA EL DESARROLLO (2009). “Informe final Convenio 2007: Informe de Actividades Convenio IMARPE-FONCHIP 2008-2009”. Proyecto-PROPESCA. 37 pág. (En línea)  
URL:[http://www.produce.gob.pe/RepositorioAPS/1/jer/PROPESCA\\_OTRO/actividades\\_convenios/INFORME%20final%202008-2009.pdf](http://www.produce.gob.pe/RepositorioAPS/1/jer/PROPESCA_OTRO/actividades_convenios/INFORME%20final%202008-2009.pdf) (accedido abril 2011).

MONTES R, QUIÑONES R (1999). Efecto de la pluviosidad y del caudal de los ríos Bio-Bio e Itaca sobre los desembarques de las almejas *Protothaca thaca* y *Venus antiqua* en la zona centro-sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. 72:13-30.

NOTHCOTE T (2000). Ecological interactions among an Orestiid (Pisces: Cyprinodontidae) species flock in the littoral zone of Lake Titicaca. *Advances in Ecological Research*. 31:399-420.

PACA F, PACA R, ATENCIO S, ALFARO R, PACA B, CHURA R (2002). Desarrollo de programas de pesca artesanal en el ámbito Peruano del sistema TDPS. *Proyecto PER/98/G-32 Conservación de la biodiversidad en la cuenca del lago Titicaca*. Subcontrato 24.24. Informe Final. 450 pp. ([www.pnud.bo/biodiversidadtdps/proyecto](http://www.pnud.bo/biodiversidadtdps/proyecto)).

PAREDES M, GONFIANTINI G (1999). Lake Titicaca: historical and current studies. *Water and Environment News*. International Atomic Energy Agency. Quarterly N° 8/9, December 1999. 6-8 pp.

PARRAGA D, CUBILLOS L, CORREA M (2010). Variaciones espacio-temporal de la captura por unidad de esfuerzo en la pesquería artesanal costera del pargo rayado *Lujtanus synagris*, en el Caribe colombiano y su relación con variables ambientales. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 45:77-88.

PRICE H, POTHOVEN S, MCCORNICK M, JENSEN P, FAHNENSTIEL G (2003). Temperature influence on commercial lake whitefish harvest in eastern lake Michigan. *Journal of Great Lakes Research*. 29:296-300.

PYPER J, PETERMAN R (1998). Comparison of methods to account for autocorrelation in correlation analysis of fish data. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 55:2127-2140.

PROYECTO ESPECIAL LAGO TITICACA (PELT) & CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO AGROPESQUERO (CEIPAD) (1994). Evaluación electroacústica de los recursos pesqueros en el lago Titicaca, Crucero 9312. Puno-Lima. 33 pp.

QUIÑONES R, MONTES R (2001). Relationship between freshwater input to the coastal zone and historical landings of the benthic/demersal fish *Eleginops maclovinus* in central-south Chile. *Fisheries Oceanography*. 10:311-328.

RICHERSON P, WIDMER C, KITTEL T (1977). The limnology of lake Titicaca (Perú-Bolivia), a large high altitude tropical lake. Univ. California, Davis, Inst. Ecology, 14:78 p, multigr.

ROCHE M, BOURGES J, CORTES J, MATTOS R (1991). Climatología e Hidrología de la Cuenca de lago Titicaca. In *El Lago Titicaca: Síntesis del Conocimiento Limnológico Actual*. Dejoux & A. Iltis (eds). OSTOM-HISBOL, La Paz, Bolivia. 584(Cap. IV.1): 83-104.

SÁEZ J, BLAZQUEZ L (1999). Estudio de las actividades y mejora de las condiciones de producción acuícola en el lago Titicaca (Perú). *Proyecto de apoyo al desarrollo del sector pesquero y acuícola del Perú*. Informe Técnico II. 111 pp.

SEGURA M, GUARDIA A, SAAVEDRA L (2007). Encuesta Estructural de la Actividad Pesquera Artesanal. Instituto del Mar de Peru. Informe Interno. 21 pp.

SPENCER P, COLLIE J (1999). Patterns of population variability in marine fish stocks, with application to precautionary rebuilding projections of the Georges Bank Haddock. *Proceedings, 5<sup>th</sup> NMFS NSAW*. pp 120-121.

TREVIÑO H, TORRES J, RONCAL M (1991). VII.3 El Potencial ictiológico. In *El Lago Titicaca: Síntesis del Conocimiento Limnológico Actual*. Dejoux & A. Iltis (eds). OSTOM-HISBOL, La Paz, Bolivia. 584(Cap.VII.3): 549-562.

VAUX P, WURTSBAUGH W, TREVINO H, MARIÑO L, BUSTAMANTE E, TORRES J, RICHERSON P, ALFARO R (1988). Ecology of the Pelagic Fishes of Lake Titicaca, Perú -Bolivia. *Biotopa*. 20:220-229.

WIRRMANN D (1991). Capítulo II Morfología y Batimetría. In *El Lago Titicaca: Síntesis del conocimiento limnológico actual*. Dejoux & A. Iltis (Eds). OSTOM-HISBOL, La Paz, Bolivia. Pág. 584:31-38.

YUCRA A (1993). Reproducción Artificial del *Basilichthyes bonariensis* (pejerrey). Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Biológicas. 45 pp.

## LEYENDA DE FIGURAS

### NIVEL DE AGUA DEL LAGO

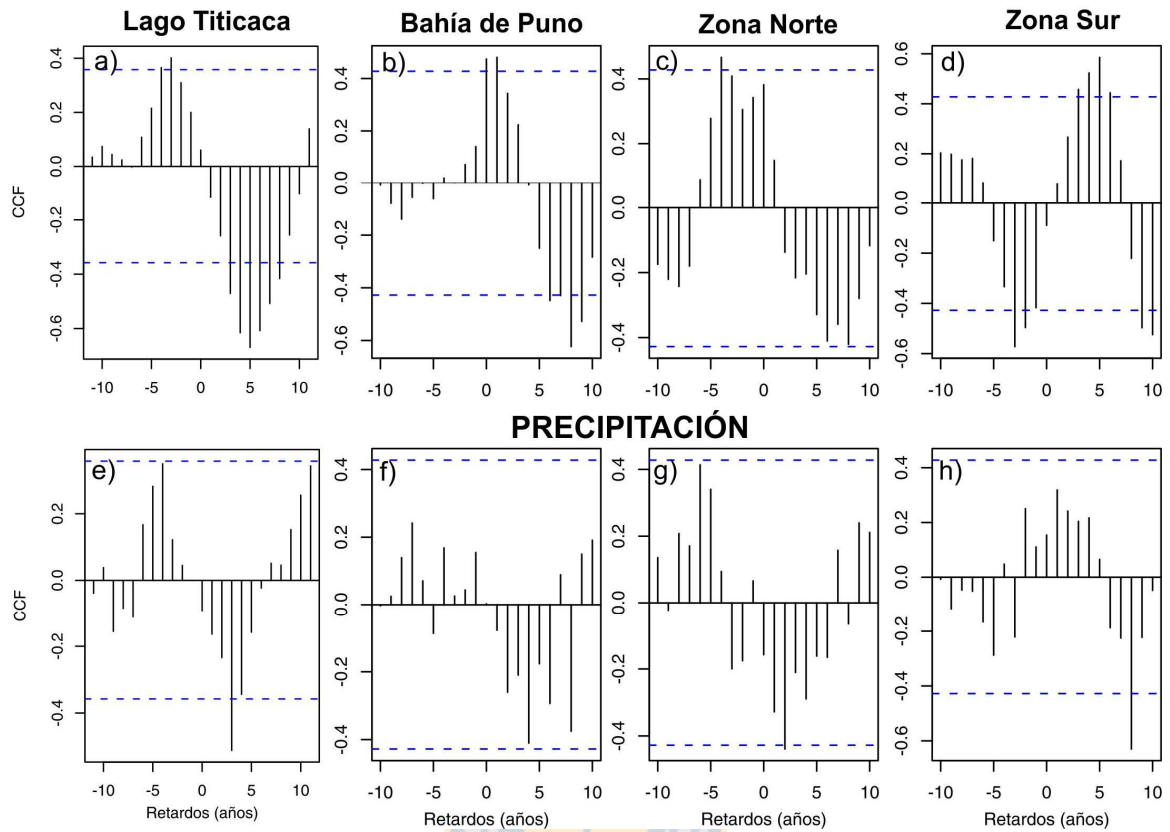


FIGURA 10 Función de correlación cruzada de los residuales anuales de nivel del lago (a-d) y precipitación (e-h) con los residuales de captura de pejerrey *Odontesthes bonariensis* por zonas del lago; la línea punteada indica el nivel significativo de correlación ( $\alpha = 0.05$ ); el retraso negativo está implicado en la relación ambiente – recurso.

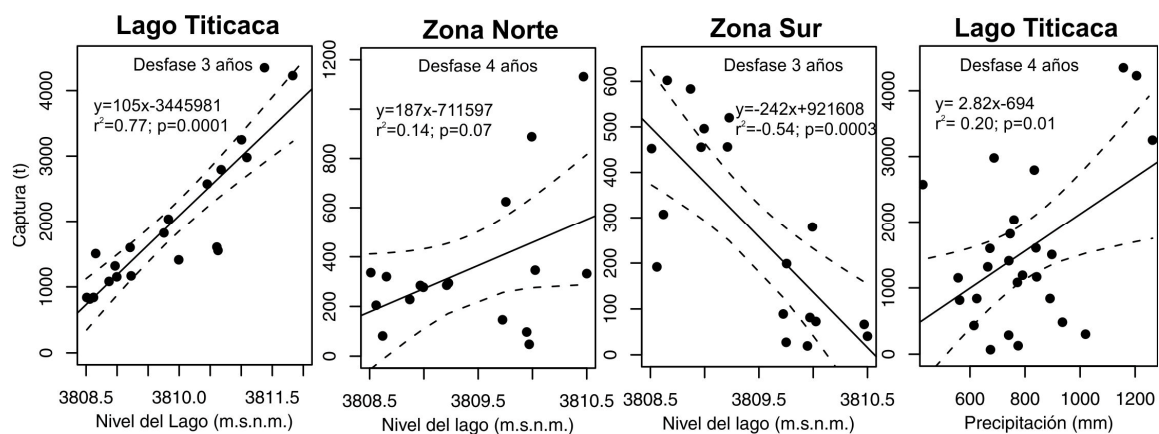


FIGURA 11. Regresión lineal entre la captura anual del pejerrey *Odontesthes bonariensis* con el nivel del lago y precipitación en diferentes años de desfase por las zonas del lago. Línea punteada corresponde a I.C. ( $\alpha=0.05$ ).



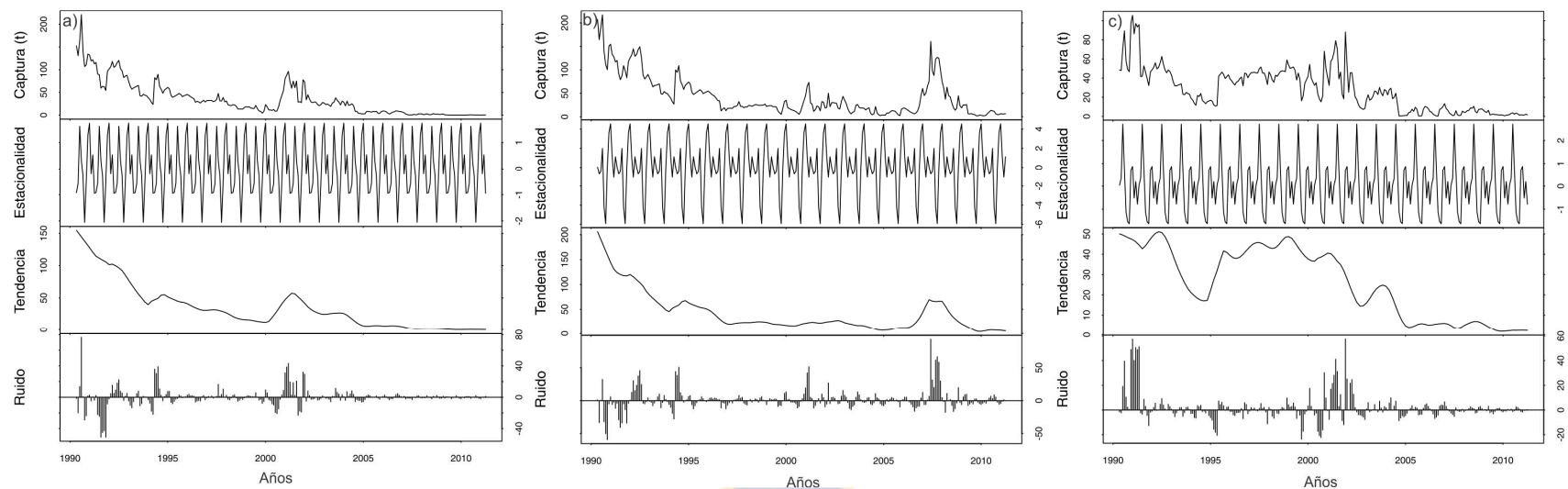


FIGURA 12. Descomposición de las series de tiempo de las variables de captura de pejerrey *Odontesthes bonariensis* usando un suavizador (STL), entre 1990 – 2010. a) Zona Norte, b) Bahía de Puno y c) Zona Sur.

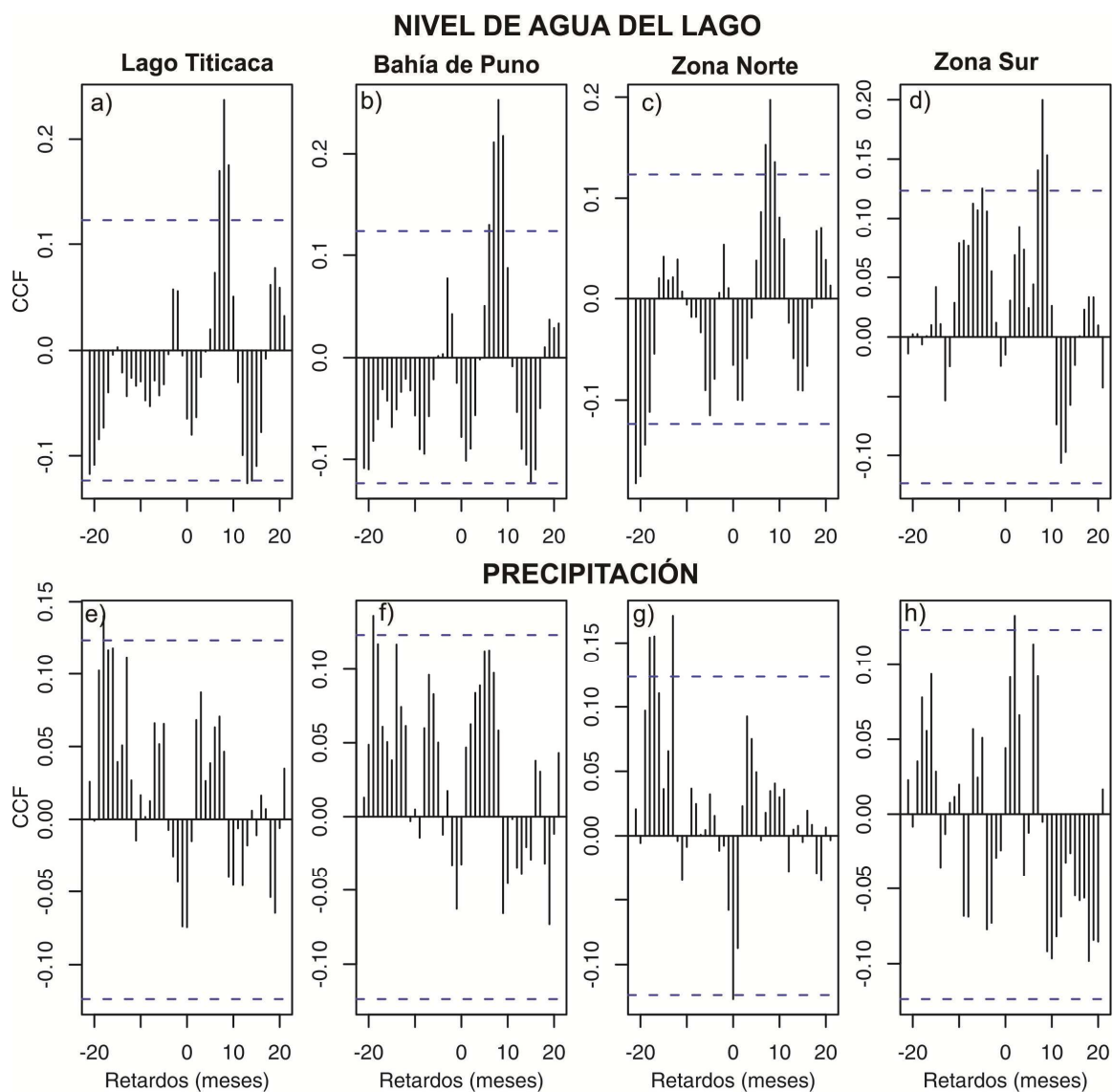


FIGURA 13. Función de correlación cruzada de los residuales mensuales de nivel del lago (a-d) y precipitación (e-h) con residuales mensuales de captura del pejerrey *Odontesthes bonariensis* por zonas del lago, la línea punteada indica el nivel significativo de correlación con  $\alpha = 0.05$ ; lag: tiempo de retraso (meses).

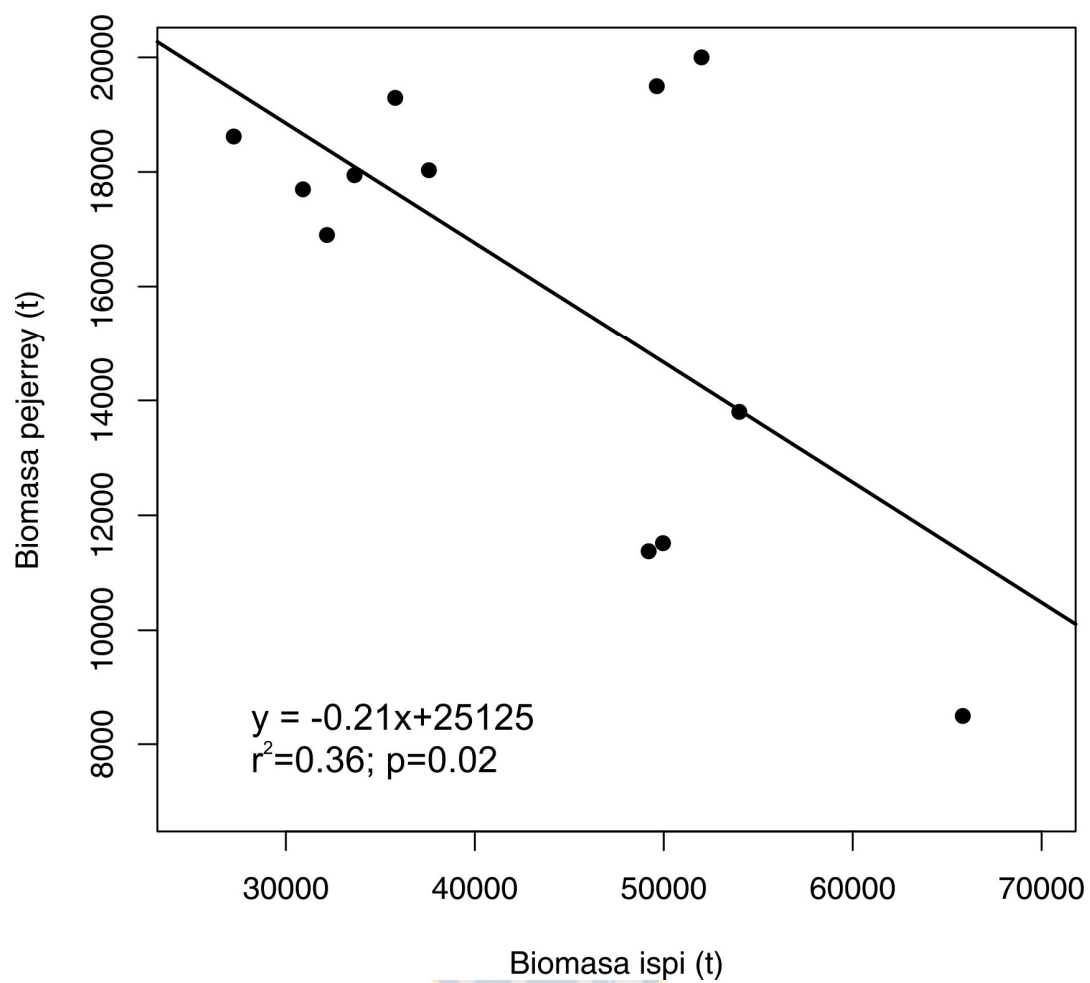


FIGURA 14. Regresión lineal entre las biomasa anuales de ispi *Orestias ispi* con las biomasa anuales de pejerrey *Odontesthes bonariensis*.



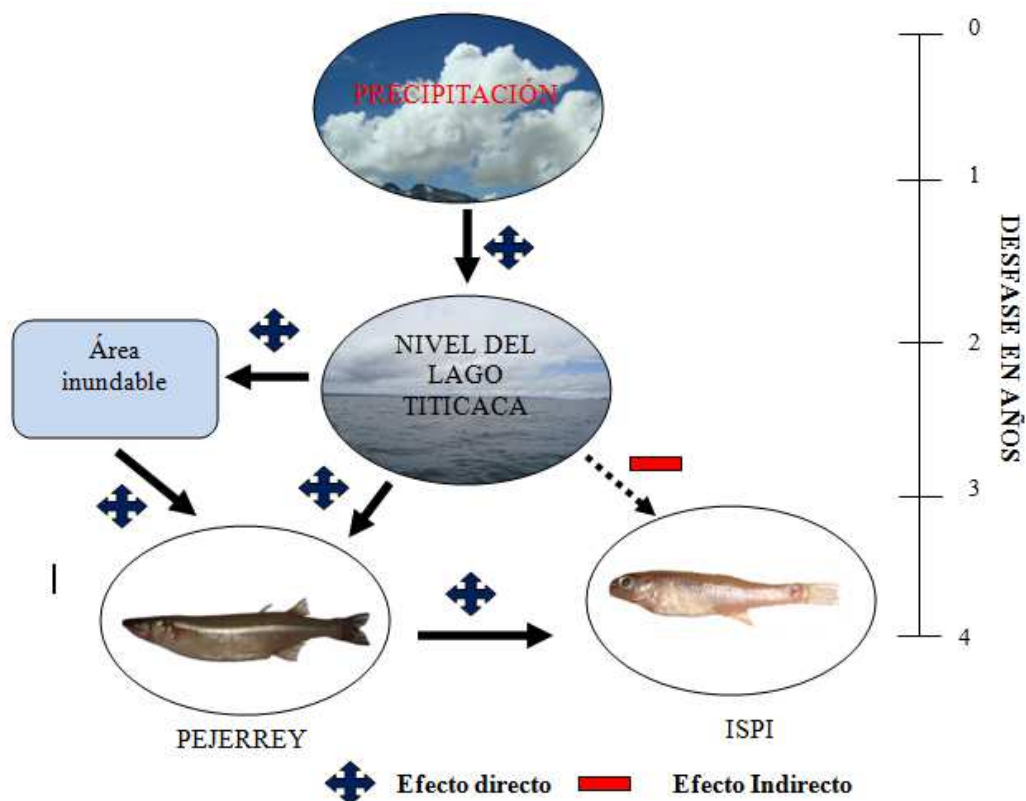


Figura 15. Flujograma del efecto de las variables ambientales sobre las capturas del pejerrey *Odontesthes bonariensis* e ispi *Orestias ispi*

**Tabla 1. Especies de mayor captura en la pesquería artesanal del Lago Titicaca entre 1981 y 2010**

Table 1. Species mostly landing in the small scale fishery of the Lake Titicaca, between 1981 and 2010

| Nombre Científico                       | Captura total<br>(t) | Captura total<br>(%) |
|---|----------------------|----------------------|
| Pejerrey <i>Odontesthes bonariensis</i> | 46178                | 43.4                 |
| Ispi <i>Orestias ispi</i>               | 12460                | 11.7                 |
| Mauri <i>Trichomycterus rivulatus</i>   | 1863                 | 1.8                  |
| Trucha <i>Oncorhynchus mykiss</i>       | 1548                 | 1.5                  |
| Boga <i>Orestias pentlandii</i>         | 926                  | 0.9                  |
| Otros 6 spp. (Carachis)                 | 43358                | 40.8                 |
| <b>Total</b>                            | <b>106333</b>        | <b>100.0</b>         |

La presente tesis se realizó en el Departamento de Oceanografía de la Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográfica de la Universidad de Concepción y ha sido aprobada por la siguiente Comisión Evaluadora:

Profesor Guía

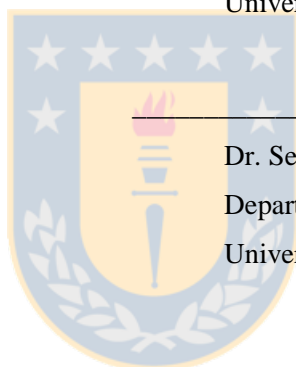
---

Dr. (C) Luis Antonio Cubillos Santander  
Departamento de Oceanografía  
Universidad de Concepción

Comisión Evaluadora

---

Dr. (C) Luis Antonio Cubillos Santander  
Departamento de Oceanografía  
Universidad de Concepción



---

Dr. Sergio Eduardo Neira Alarcón  
Departamento de Oceanografía  
Universidad de Concepción

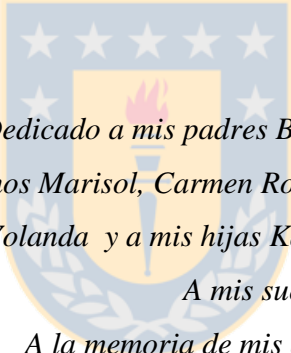
---

Dr. Ciro Oyarzún González  
Departamento de Oceanografía  
Universidad de Concepción

Director del Programa

---

Dr. Leonardo Castro Cifuentes  
Departamento de Oceanografía  
Universidad de Concepción



*Dedicado a mis padres Benito Felimón y Julia Guillermina  
A mis hermanos Marisol, Carmen Rocío, Yanet, Wilson y Cesar Edison  
A mi esposa Mirian Yolanda y a mis hijas Katherine Erica y Maricel Milagros  
A mis suegros Benito y Angélica y cuñados  
A la memoria de mis abuelos Facundo y María Jacinta.  
A mis colegas del Laboratorio Continental de IMARPE Puno – Perú.*

## **Agradecimientos**

Agradecimiento más sincero a mi familia, quienes me dieron su apoyo y motivación, especialmente a mi Madre Julia Guillermina y hermanos: Marisol, Roció, Yanet, Wilson y Edison quienes me impulsaron a estudiar el Magíster. De la misma manera, a mi esposa Mirian Yolanda y a mis hijas: Katherine y Maricel quienes me apoyaron en la culminación del Magíster.

De forma muy especial a mi Profesor Guía Dr. (C) Luis A. Cubillos Santander que ha llevado a un final exitoso este trabajo, por su asesoría y tiempo sin el cual no hubiese sido posible esta tesis. Asimismo, agradezco a los miembros de la comisión evaluadora Dr. Ciro Oyarzún González y Dr. Sergio Eduardo Neira Alarcón quienes con sus valiosos aportes y experiencia ayudaron a enriquecer la tesis.

Agradezco el apoyo brindado por la Dirección de Postgrados de la Universidad de Concepción en la realización del Magíster y al Instituto del Mar del Perú que durante la etapa final de mis estudios de postgrado han permitido enriquecer aún más mis conocimientos en el área de evaluación de los recursos pesqueros.

Agradecimiento a mis amigos que me apoyaron en mi estadía y culminación de la tesis: Mario Baltazar, Cecilia Briceño, Mónica Barros, Samuel Soto, Alejandra Lafón y demás personas que conocí en mi estadía en la ciudad de Concepción.

Gracias a todos,

René Chura Cruz

## Índice general

|   |    |
|---|----|
| <b>RESUMEN</b> .....  | 01 |
| <b>ABSTRACT</b> .....   | 03 |
| <b>INTRODUCCIÓN</b> .....   | 05 |
| <b>OBJETIVO GENERAL</b> .....   | 14 |
| <b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....  | 14 |
| <b>HIPÓTESIS</b> .....  | 15 |
| <b>MATERIALES Y METODOS</b> .....   | 16 |
| <b>RESULTADOS</b> .....   | 21 |
| <b>Capítulo I:</b>  |    |
| La Relación entre el nivel de agua en el Lago Titicaca y Precipitación sobre las capturas del pejerrey <i>Odontesthes bonariensis</i> (Valenciennes, 1835) en el sector peruano (1981 – 2010) ..... | 21 |
| <b>Capítulo II:</b>   |    |
| Relación entre las capturas del ispi <i>Orestias ispi</i> (Lauzanne, 1981), la precipitación y del nivel de agua del Lago Titicaca sobre en el sector peruano (1981-2010) .....                     | 51 |
| <b>DISCUSIÓN GENERAL</b> .....  | 87 |
| <b>CONCLUSIÓN</b> .....   | 91 |
| <b>LITERATURA CITADA</b> .....  | 93 |
| <b>ANEXO</b> .....  | 99 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 1. Pejerrey <i>Odontesthes bonariensis</i> (Valenciennes, 1835) .....   | 06 |
| FIGURA 2. Distribución y concentración del pejerrey <i>Odontesthes bonariensis</i> durante la prospección acústica Abril 2010 en el Lago Titicaca .....  | 07 |
| FIGURA 3. Ispi <i>Orestias ispi</i> (Lauzanne, 1981) .....   | 08 |
| FIGURA 4. Distribución del ispi <i>Orestias ispi</i> durante la prospección acústica Abril 2010 en el Lago Titicaca .....  | 08 |
| FIGURA 5. Serie de tiempo anual de desembarque de las principales ícticas del Lago Titicaca (1981 – 2010) .....  | 10 |
| FIGURA 6. Localización geográfica del Lago Titicaca, Perú – Bolivia .....  | 11 |
| FIGURA 7. Relación entre las capturas y biomásas totales anuales del pejerrey <i>Odontesthes bonariensis</i> en el Lago Titicaca. ....   | 17 |
| FIGURA 8. Relación entre las capturas y biomásas totales anuales de ispi <i>Orestias ispi</i> en el Lago Titicaca. ....  | 17 |
| FIGURA 9. Áreas inundables en el Lago Titicaca productos de las fluctuaciones interanuales del nivel del lago a) periodo 1981-1986 b) periodo 1986-1996 c) periodo 1996 – 2003 y d) periodo 2003 – 2009 .....  | 18 |
| FIGURA 10 Función de correlación cruzada de los residuales anuales de nivel del lago (a-d) y precipitación (e-h) con los residuales de captura de pejerrey <i>Odontesthes bonariensis</i> por zonas del lago; la línea punteada indica el nivel significativo de correlación ( $\alpha = 0.05$ ); el retraso negativo está implicado en la relación ambiente – recurso. .... | 99 |

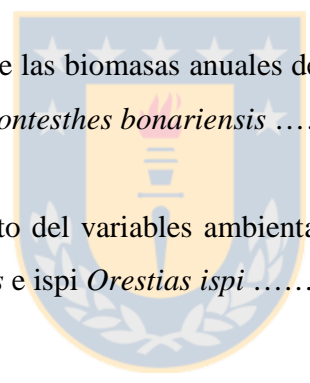
FIGURA 11. Regresión lineal entre la captura anual del pejerrey *Odontesthes bonariensis* con el nivel del lago y precipitación en diferentes años de desfase por las zonas del lago. Línea punteada corresponde a I.C. ( $\alpha=0.05$ ). ..... 100

FIGURA 12. Descomposición de las series de tiempo de las variables de captura de pejerrey *Odontesthes bonariensis* usando un suavizador (STL), entre 1990 – 2010. a) Zona Norte, b) Bahía de Puno y c) Zona Sur ..... 101

FIGURA 13. Función de correlación cruzada de los residuales mensuales de nivel del lago (a-d) y precipitación (e-h) con residuales mensuales de captura del pejerrey *Odontesthes bonariensis* por zonas del lago, la línea punteada indica el nivel significativo de correlación con  $\alpha = 0.05$ ; lag: tiempo de retraso (meses) ..... 102

FIGURA 14. Regresión lineal entre las biomásas anuales de ispi *Orestias ispi* con las biomásas anuales de pejerrey *Odontesthes bonariensis* ..... 103

FIGURA 15. Flujograma del efecto del variables ambientales sobre las capturas del pejerrey *Odontesthes bonariensis* e ispi *Orestias ispi* ..... 104



## ÍNDICE DE TABLAS

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 1. Especies de mayor captura en la pesquería artesanal del Lago Titicaca entre 1981 y 2010 ..... | 104 |
|--|-----|

