

BOLETÍN

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ

ISSN 0458-7766

VOLUMEN 33, Número 1



Enero - Junio 2018
Callao, Perú



PERÚ

Ministerio
de la Producción

VARIACIÓN INTERANUAL DE LOS PARÁMETROS BIOLÓGICOS DEL PEJERREY *Odontesthes bonariensis* EN EL LAGO TITICACA (LADO PERUANO), PERIODO 2009 – 2015

INTERANNUAL VARIATION OF THE BIOLOGICAL PARAMETERS OF SILVERSIDE *Odontesthes bonariensis* IN TITICACA LAKE (PERUVIAN SIDE), PERIOD 2009 – 2015

Stive Flores-Gómez

RESUMEN

FLORES-GÓMEZ S. 2018. Variación interanual de los parámetros biológicos del pejerrey *Odontesthes bonariensis* en el lago Titicaca (lado peruano), periodo 2009-2015. *Bol Inst Mar Perú*. 33(1): 53-64.- El pejerrey *Odontesthes bonariensis* es el segundo recurso pesquero más abundante en el lago Titicaca, por ello viene soportando intensa actividad extractiva. Ante su importancia socioeconómica y alimenticia, se ha realizado el estudio con información biológica correspondiente al periodo 2009 – 2015, en cuatro zonas del lago Titicaca (Bahía Puno, Zona Norte, Zona Sur y Lago Pequeño) con el fin de conocer las variaciones temporales de los parámetros biológicos tales como el índice gonadosomático (IGS), índice de actividad reproductiva (IR), factor de condición (FC), talla de primera madurez sexual, parámetros de la estructura poblacional por tallas y los parámetros de edad y crecimiento. El periodo de desove tuvo la amplitud de cuatro a seis meses, ocurriendo principalmente en el invierno. El comportamiento térmico de la laguna influye sobre el desove del recurso, se observaron altos índices reproductivos en los meses cuando la temperatura superficial del lago registró los más bajos valores. Se apreció relación inversa entre el índice gonadosomático y el factor de condición. Los peces evidenciaron mejor condición en otoño. Se apreció que la talla de primera madurez varió de 19,9 a 21,8 cm, media de 20,6 cm Lt para el periodo de estudio. El crecimiento fue mayor en los años 2009, 2014 y 2015, en contraste con los otros años evaluados.

PALABRAS CLAVE: *Odontesthes bonariensis*, parámetros biológicos, 2009-2015, Titicaca

ABSTRACT

FLORES-GÓMEZ S. 2018. Interannual variation of the biological parameters of silverside *Odontesthes bonariensis* in Titicaca lake (Peruvian side), period 2009-2015. *Bol Inst Mar Perú*. 33(1): 53-64.- Silverside *Odontesthes bonariensis* is the second most abundant fishing resource in Lake Titicaca, and has endured intense extractive activity. Given its socio-economic and nutritional importance, a survey with biological information from the 2009-2015 period has been carried out in four areas of Lake Titicaca (Puno Bay, North Zone, South Zone and Lago Pequeño), in order to know the temporal variations of the biological parameters: gonadosomatic index (IGS), reproductive activity index (IR), condition factor (FC), size-at-first sexual maturity, population structure parameters by size and age and growth parameters. The spawning period lasted from four to six months, mainly in winter. The thermal behavior of the lagoon influences the spawning of the resource, high reproductive indexes were observed in the months when the lake surface temperature registered the lowest values. An inverse relationship was observed between the gonadosomatic index and the condition factor. The species showed better condition in autumn. It was appreciated that the size-at-first maturity varied from 19.9 to 21.8 cm, with a mean of 20.6 cm TL (Total length?) for the study period. The growth was greater in the years 2009, 2014 and 2015, in contrast with the other years assessed.

KEYWORDS: *Odontesthes bonariensis*, biological parameters, 2009-2015, Titicaca

1. INTRODUCCIÓN

Odontesthes bonariensis (Valenciennes) comúnmente conocida como “pejerrey” es una especie oriunda de los estuarios fluviales argentinos, uruguayos y brasileños (LOUBENS y OSORIO 1988).

Su presencia en el lago Titicaca se debe a la migración de especímenes desde el lago Poopó, lugar donde fue introducido por un club de pesca en 1946 (BUSTAMANTE y TREVINO 1980). Su capacidad de adaptarse a diversas condiciones ambientales fue favorable para su desarrollo poblacional en el lago Poopó y posteriormente en el Titicaca, al punto de ser considerada como la especie de mayor importancia comercial (UNEP 1996).

El pejerrey representa una pesquería importante en el lago Titicaca (ORTEGA *et al.* 2011) y es la principal fuente de proteína de la población que habita en las diferentes zonas urbanas y rurales que existen a orillas del lago (PNUMA 2011). Su extracción tiene un importante impacto relacionado con la seguridad alimentaria y economía regional.

En 1984-85 IMARPE estimó para el lago Titicaca una biomasa de 91.000 t, de ellas el 52% (46.410 t) correspondió a biomasa del pejerrey (ALT – PNUD 2002). IMARPE (2014) en agosto 2014 estimó la biomasa de 15.320 t. Las estadísticas indican a la pesca como la principal actividad que realiza presión sobre el recurso, la cual viene provocando el notorio descenso de su biomasa.

1 Área Funcional de Investigaciones de Recursos en Aguas Continentales. IMARPE Callao, danstive@gmail.com

Los factores que vulneran a la población del pejerrey y otras especies son la modificación y alteración de sus hábitats debido a la contaminación ocasionada por la minería, aguas servidas, residuos sólidos y otros (NORTHCOTE *et al.* 1991, FONTÚRBEL 2010); asimismo, a la extracción de plantas acuáticas (totora, macrofitas y otros) y en los últimos años la acuicultura.

El estudio de la biología de una especie en el tiempo es indispensable para comprender los cambios de su población, y permite plantear propuestas conducentes a su protección y conservación, más aún si esta constituye una especie cuya extracción sostiene el desarrollo de la actividad pesquera.

Existen investigaciones que brindan luces respecto a la biología y dinámica poblacional del pejerrey en el lago Titicaca (TREVINO² 1980, SARMIENTO *et al.* 1987, VAUX *et al.* 1988, LOUBENS y OSORIO 1988, FLORES 2010, CHURA-CRUZ *et al.* 2012, FLORES³ 2013); sin embargo, son necesarias investigaciones que permitan comprender los cambios que presenta su población en el tiempo.

La finalidad de este estudio fue determinar los cambios interanuales que han presentado los parámetros biológicos y poblacionales del pejerrey *O. bonariensis* en el lago Titicaca (lado peruano) durante el periodo 2009 – 2015.

Se analizó la evolución mensual del índice gonadosomático (IGS), índice de condición reproductiva (IR) y factor de condición (K), así como su relación con la temperatura superficial del lago (TSL); también se examinó la variación interanual de la talla de primera madurez; estructura poblacional por tallas y el crecimiento somático.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se efectuó en el ámbito peruano del lago Titicaca (Fig. 1). Estratégicamente se definieron principales puntos para acopio de información, estando estos en bahía de Puno (Capachica, Puno, Chucuito, Acora y Parina), en la Zona Norte (Conima, Moho, Huancané, Vilquechico, Taraco, Pusi, isla Amantaní, isla Soto, isla Suasi, isla Taquile), en la Zona Sur (Ilave, Juli, Pomata y Pilcuyo) y en el lago Pequeño (Yunguyo, isla Anapia, Copani, Zepita y Desaguadero).

Obtención de información

La información empleada en este estudio corresponde al periodo 2009 – 2015, obtenida a partir de muestras tomadas de la pesca comercial. El muestreo biométrico se efectuó en 61.592 ejemplares.

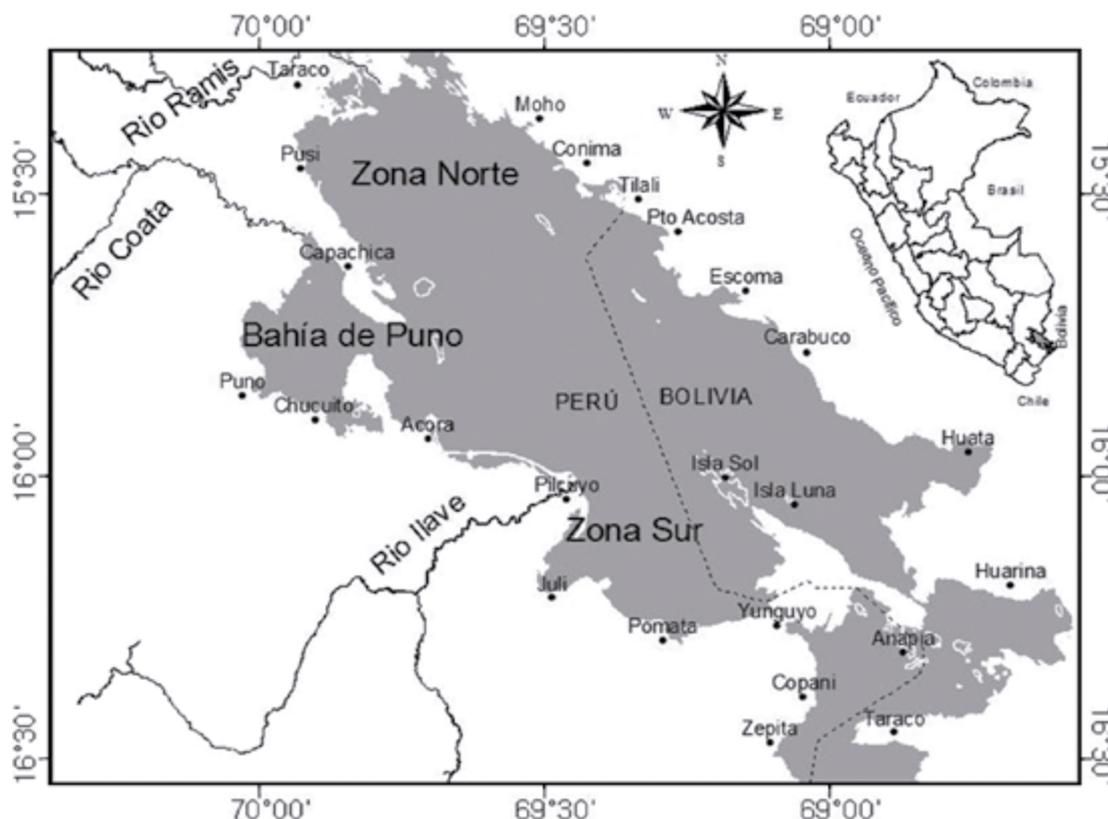


Figura 1.- Localización geográfica del Lago Titicaca, Perú – Bolivia

2 Treviño H. 1980. Crecimiento y tasa de mortalidad en base a la distribución de frecuencias de longitudes (*Odontesthes bonariensis*) de abril de 1989 a marzo de 1990. Informe Interno. Inst. Mar Perú-Puno.
 3 Flores S. 2013. Estructura de tallas, crecimiento y mortalidad del Pejerrey (*Odontesthes bonariensis*) en el Lago Titicaca (pag. 35-36). En UNMSA. II Simposio Internacional de Lago Titicaca - TDPS una responsabilidad compartida. Documento preliminar: ponencias en resumen para compartir.

Para la obtención de información de tallas, se tomaron muestras de la captura total en forma aleatoria (GULLAND y ROSEMBERG 1992). El promedio de ejemplares medidos por cada zona (Bahía Puno, Zona Norte, Zona Sur y lago Pequeño) fue de 140 especímenes al mes.

Se trabajaron 11.650 ejemplares en los múltiples muestreos biológicos.

Para la obtención de información biológica, se muestrearon 10 individuos/talla. En cada individuo se registró: longitud total (L_T) en centímetros, peso total (P_T) (g) y eviscerado (P_E) (g), sexo, estadio de madurez gonadal y el peso gonadal (P_G) (g).

Los ejemplares fueron medidos con un ictiómetro calibrado a intervalos de 1,0 cm. Para obtener el peso total se utilizó una balanza de precisión de 0,1 g y para el peso de gónadas una balanza de precisión de 0,01 g.

Los datos mensuales de temperatura superficial (°C) del lago (TSL) fueron obtenidos en la estación fija ubicada en Juli (16°12'5,85"S-69°27'40,97"W).

La escala empleada para la identificación del estadio de madurez gonadal en hembras fue la de JOHANSEN (1924) quien considera I-virgen, II-inmaduro, III-maduro virginal o en reinicio de maduración, IV-madurante, V-madurante avanzado, VI-grávido, VII-desove, VIII-postdesove/desovado.

Análisis de información

El índice gonadosomático (IGS) fue determinado al aplicar la ecuación propuesta por BUITRÓN *et al.* (2011) expresada como:

$$IGS = P_G/P_E \times 100$$

Dónde:

P_G = peso de la gónadas (g)

P_E = peso eviscerado (g)

Para el análisis se discriminaron ejemplares con tallas inferiores a 22,5 cm (talla de primera madurez sexual, según CHURA y TREVIÑO⁴ 2010) y ejemplares en estadios I y II (virginales).

El índice de actividad reproductiva (IR) (modificada por BUITRÓN *et al.* 2011) para hembras fue determinado por aplicación de la ecuación:

$$AR = ((HVI + HVII)/Ha) * 100$$

Dónde:

HVI = hembras con gónadas en estadio VI

HVII = hembras con gónadas en estadio VII

Ha = total de hembras adultas

El factor de condición (FC) se calculó empleando la ecuación $FC = P_E/L^3$ (CABRERA *et al.* 2008, FLORES-GÓMEZ 2015).

La talla media de primera madurez (L_{50}) fue estimada aplicando la ecuación propuesta por CUBILLOS (2005), que la define como la talla en la ojiva de madurez a la cual existe 50% de probabilidad de observar un individuo maduro. La ecuación es:

$$P = \frac{1}{1 + e^{-\alpha + \beta l}}$$

Donde:

α y β = Coeficientes

l = Longitud total (cm)

L_{50} está definida a partir de los parámetros de la función logística: $L_{50} = -\alpha/\beta$. Se determinó la proporción de individuos maduros en cada talla. Los estadios I y II se consideraron como "virginales" y los estadios del III al VIII como "maduros o adultos" (CHURA y TREVIÑO⁴ 2010). Se utilizó la información biológica de los meses dentro de la época de mayor actividad reproductiva.

El análisis de la estructura por tallas se efectuó sin distinción de sexos.

El crecimiento fue estimado aplicando la fórmula de von Bertalanffy:

$$L_T : L_{\infty}(1 - e^{-K(t - t_0)})$$

Donde:

L_T : la talla del pez en la edad t

L_{∞} : la longitud asintótica (longitud media que un pez alcanzaría si creciera indefinidamente),

K : coeficiente de desaceleración del crecimiento;

e : base del logaritmo natural neperiano (2,71828)

t_0 : edad teórica a la longitud cero

Los parámetros de crecimiento K y L_{∞} se obtuvieron mediante el Análisis Electrónico de Frecuencia de Longitudes (ELEFAN), rutina del paquete FISAT-ICLARM Fish Stock Assessment Tools (GAYANILO y PAULY 1997, GAYANILO *et al.* 2005). El inicio de la curva de crecimiento se ajustó al mes pico de actividad reproductiva del año.

⁴ Chura R, Treviño V. 2010. Talla de madurez y época de desove del pejerrey (*Odontesthes bonariensis* Cuvier & Valenciennes 1835) en el Lago Titicaca. Congreso de Estudiantes de Biología en el 2010.

El parámetro t_{0v} fue estimado por aplicación de la ecuación de PAULY (1979):

$$\log_{10}(-t_{0v}) = -0,392 - 0,275 \log_{10} L_{\infty} - 1,038 \log_{10} K$$

Donde: t_{0v} , L_{∞} y K son parámetros de la ecuación de von Bertalanffy.

El desempeño del crecimiento Phi (\emptyset) que relaciona los parámetros L_{∞} y K , se determinó por la aplicación de la ecuación de MUNRO y PAULY (1983) la cual viene dada por:

$$\emptyset' = \log_{10} K + 2 \log_{10} (L_{\infty})$$

Esto permite determinar la eficiencia y confianza del parámetro obtenido por el método ELEFAN I.

Métodos estadísticos aplicados

La determinación del promedio, así como la desviación estándar en el análisis anual de longitudes, IGS y FC fueron realizados utilizando el software Microsoft Excel 2010.

Se realizó el análisis de regresión lineal entre el IGS-FC, TSL-IGS y TSL-Phi Prima (\emptyset') aplicando la ecuación:

$$Y = bX + a$$

Donde:

a : intercepto

b : pendiente

Se determinó también el grado de correlación (R^2) entre los mismos.

Se realizó el análisis de tendencia en serie de tiempo sobre los promedios mensuales del IGS, IR, FC y TSL (resultados de análisis de relación en Anexo) por aplicación de la ecuación sinusoidal la cual viene definida por:

$$y = a + b \cos (cx + d)$$

Donde:

x = mes (se emplearon números naturales)

y = según el análisis el IGS, IR, FC o TSL

a, b, c y d = constantes

El análisis se efectuó utilizando el software Curve Expert (versión 2.3.0). En las Tablas A-C de la sección Anexo se exponen los resultados de los análisis de relación no lineal efectuados sobre las variables ya mencionadas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el periodo 2009-2015 se observó que el IGS en hembras (como indicador del desarrollo gonadal que permite inferir sobre el ciclo reproductivo de la población) tuvo valores $\leq 2\%$ entre febrero-abril, excepto en los años 2012 y 2015.

La amplitud del periodo de mayor actividad reproductiva, determinada a partir de los meses en que el IGS promedio ($\geq 2,5\%$) fue variable; duró cuatro meses en los años 2009, 2011, 2013 (con inicio en julio) y 2010 (con inicio en junio); cinco meses (con inicio en junio) en 2014; y seis meses (con inicio en mayo) en 2012 y 2015 (con inicio en junio).

El mes pico de IGS fue también variable, dándose en julio en los años 2010 y 2011, y en agosto en los demás años (Fig. 2). Sin embargo, es preciso señalar la presencia de un mínimo porcentaje de hembras en desove durante todo el año, coincidiendo con lo observado por BOSCHI y FUSTER (1959).

Los resultados difieren de los determinados por BUEN (1953) quien señala que el pejerrey desova en primavera (octubre a diciembre) y de IWASKIW y FREYRE (1980) quienes señalan dos periodos de reproducción, el principal de agosto a noviembre y el secundario en el otoño austral.

La amplitud del periodo de mayor actividad reproductiva, determinada a partir del IR considerando los meses con índice $\geq 14\%$, fue de dos meses (julio-agosto) en 2015, tres meses (julio-setiembre) en 2013, cuatro meses (junio-setiembre) en 2009 y 2014; cuatro meses (mayo-agosto) en 2010 y 2011, y el más amplio fue de cinco meses (mayo-setiembre) en 2012. Los picos se dieron en julio en los años 2010, 2011, 2012 y 2013 y en agosto en los demás años (Fig. 3).

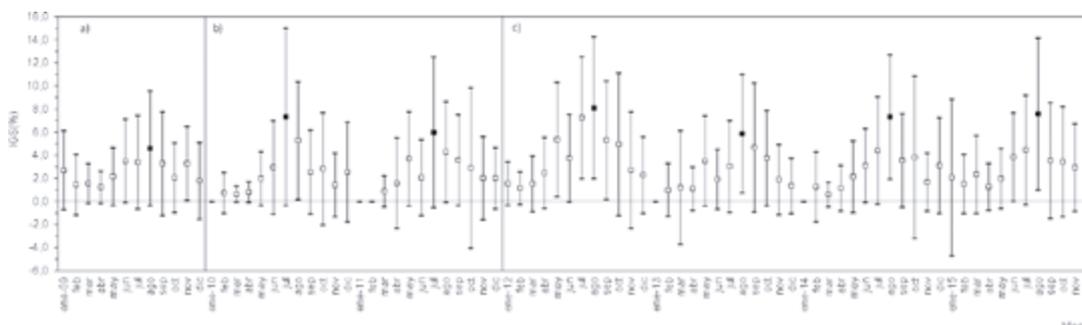


Figura 2.- Evolución mensual interanual (mensual) del índice gonadosomático (IGS) analizado para hembras de pejerrey *Odontesthes bonariensis* en el lago Titicaca, periodo 2009 – 2015. Dónde: a, b y c indican los años donde se observaron cambios en el pico de IGS; (□) es el promedio mensual de IGS y las extensiones superior e inferior corresponden a su desviación estándar; (■) indica en pico de IGS del año

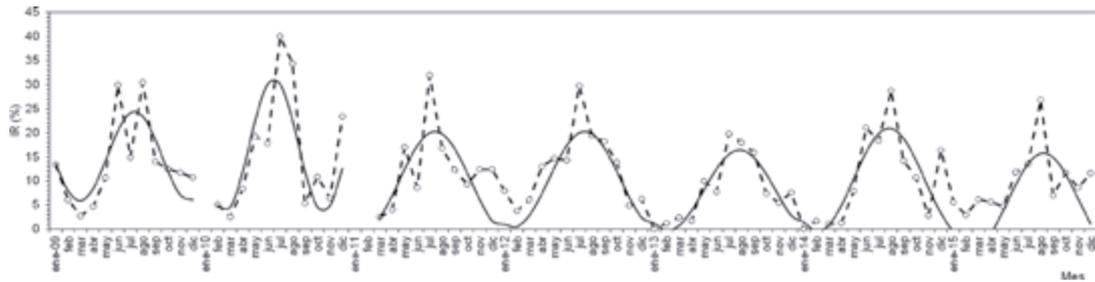


Figura 3.- Variación mensual interanual del índice de actividad reproductiva (IR) analizado para hembras de pejerrey *Odontesthes bonariensis* en el Lago Titicaca, periodo 2009 – 2015. Dónde: (o) es el valor de IR y la línea continua es tendencia hallada por aplicación de ecuación sinusoidal

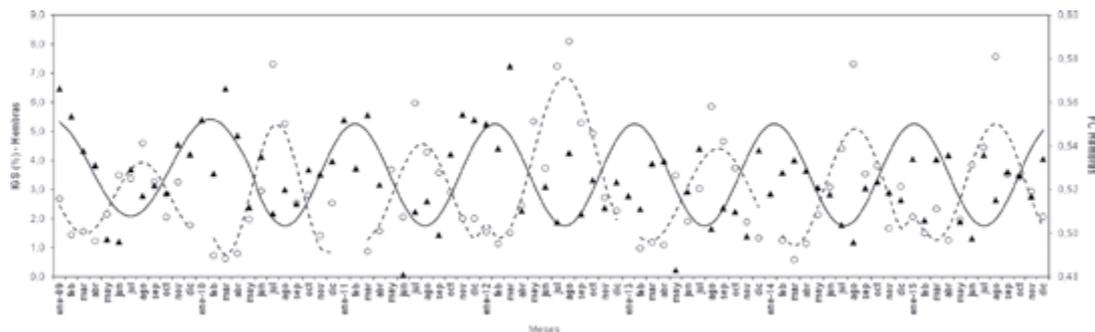


Figura 4.- Evolución mensual interanual del índice gonadosomático (IGS) y el factor de condición (FC) analizado para hembras de pejerrey *Odontesthes bonariensis* en el lago Titicaca, periodo 2009 – 2015. Dónde: (o) es el promedio mensual del IGS; (▲) es el promedio mensual del FC; la línea discontinua es la tendencia del IGS y la continua del FC, ambas determinadas por aplicación de ecuación sinusoidal

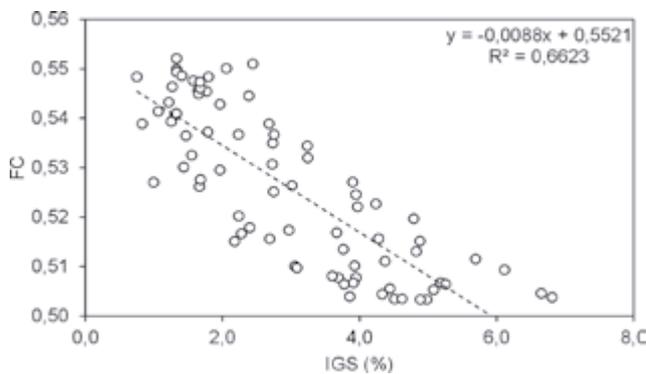


Figura 5.- Relación entre el índice gonadosomático (IGS) y factor de condición (FC) (valores calculados por regresión no lineal) determinado para hembras de “pejerrey” *Odontesthes bonariensis* en el Lago Titicaca, periodo 2009 – 2015. Dónde: (o) es el promedio mensual del IGS frente al promedio mensual del FC dado, y la línea discontinua la tendencia

Los resultados en observaciones sobre valores de IGS e IR indican que la reproducción del pejerrey es estacional, y acontece principalmente durante el periodo de invierno y parte de la primavera.

El factor de condición (FC), índice que permite evaluar el estado de “bienestar” de los peces, y además permite inferir sobre la condición trófica del ambiente acuático (GONZALES *et al.* 2006), fue calculado con el peso eviscerado, para evitar el ruido aportado por el desarrollo gonadal y del estómago (cuyo contenido puede alterar el índice). En los resultados para el

periodo 2009-2015 se observaron que las hembras mostraron mejor condición (robustez) en el verano (enero-marzo), con valores de FC >0,52 y pésima condición (exánime) en invierno (principalmente entre junio-setiembre) con valores de FC <0,52.

En el periodo de reproducción, el FC disminuye debido a que las hembras invierten energía en el desarrollo gonadal, direccionando menos energía para el desarrollo somático; mientras que, en verano son más robustas porque las condiciones ambientales facilitarían la disponibilidad de alimento para su favorable desarrollo (FREYRE *et al.* 2009).

En peces tropicales se han observado diversas adaptaciones morfológicas y fisiológicas frente a los cambios estacionales ambientales (LOWE-McCONNELL 1987). El nivel del lago Titicaca se incrementa estacionalmente por la incidencia de lluvias entre diciembre y abril y también el área de la superficie del lago, extendiéndose la zona litoral, zona que el pejerrey estaría ocupando como zona de refugio y alimentación.

Se apreció que, al incremento del IGS disminuye el FC, a la vez se apreció que en los meses pico de IGS (o cercanos a él) se observaron los valores más bajos de FC, esto evidencia que existe una clara relación inversa con tendencia negativa ($b = -0,0088$) entre ambos índices biológicos, donde el coeficiente de determinación (R^2) fue 0,66 (Figs. 4 y 5).

Se realizó el análisis de regresión lineal para determinar la relación existente entre la TSL y el IGS. El coeficiente de determinación (R^2) fue 0,53.

Se observó relación inversa con tendencia negativa ($b = -0,9613$) entre ambas variables (Fig. 7); es decir, a medida que la temperatura disminuye el IGS incrementa. Los picos de IGS en los años 2010 (IGS = 7,32% en julio), 2011 (IGS = 5,97% en julio) y 2013 (IGS = 5,86% en agosto), coincidieron con las temperaturas más bajas de esos años, tal como se aprecia en los rectángulos verticales en la figura 6.

Los mínimos registros de TSL superan al valor más bajo de temperatura (11,25 °C) señalado por ILTIS *et al.* (2001) para el periodo 1977-1979. Los resultados muestran que la temperatura es un factor ambiental que influye sobre el desove del pejerrey en la temporada de invierno.

Los fuertes vientos fríos que tienen mayor incidencia en invierno (5-6 m/s a 8 m de altura) MINEM (2008) y

que oscilaron entre 1,23 y 1,42 m/s a 2 m de altura (ILTIS *et al.* 2001), facilitan mayor oxigenación del agua, por lo tanto, el pejerrey ha sincronizado su desove a este periodo donde la alta concentración de oxígeno posibilitaría la sobrevivencia de su progenie (LEAL y OYARZÚN 2003), puesto que la producción de clorofila-a y fitoplancton en el lago Titicaca es mayor en agosto y setiembre, comparado con otros meses (IMARPE 2013, 2014).

La talla de primera madurez (L_{50}) es un parámetro biológico plástico que las especies modulan para optimizar la proliferación de su población (STEARNS 1993). En el caso del pejerrey se observó que L_{50} redujo de 20,5 cm (2009) a 19,1 cm (2011) e incrementó a 21,8 cm en 2015 (Fig. 8). La estimación efectuada con información acumulada del periodo 2009-2015 fue 20,5 cm, inferior a 23,4 cm señalada en IMARPE (2008) y a 21,8 cm (longitud estándar) estimada por BARROS *et al.* (2004). Los resultados indican que la especie viene modulando su talla de primera madurez como respuesta ante las diversas condiciones ambientales (MERONA *et al.* 2009).

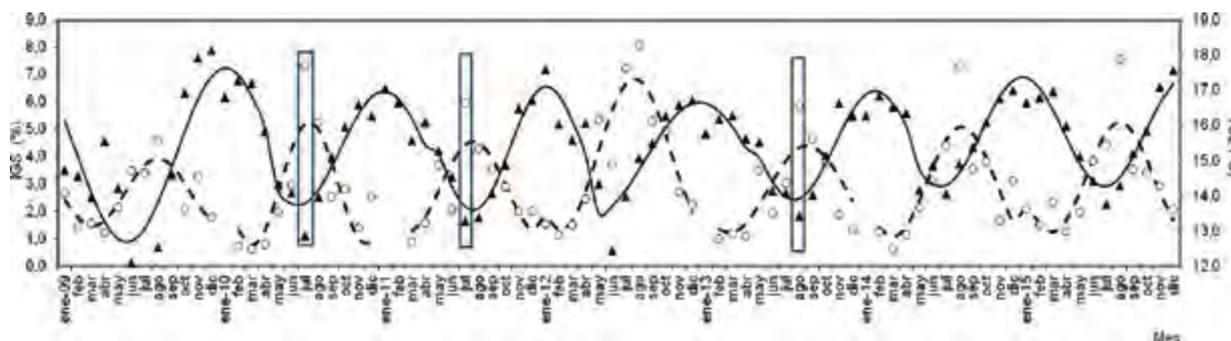


Figura 6.- Evolución mensual interanual del índice gonadosomático (IGS) de hembras de pejerrey *Odontesthes bonariensis* y la temperatura superficial del lago (TSL), periodo 2009 – 2015. Donde: (○) es el promedio mensual del IGS; (▲) es el promedio mensual de la TSL; la línea discontinua es la tendencia del IGS y la continua es de la TSL, ambas determinadas por aplicación de ecuación sinusoidal; y los rectángulos verticales indican los meses en los que hubo coincidencia de picos extremos de TSL e IGS

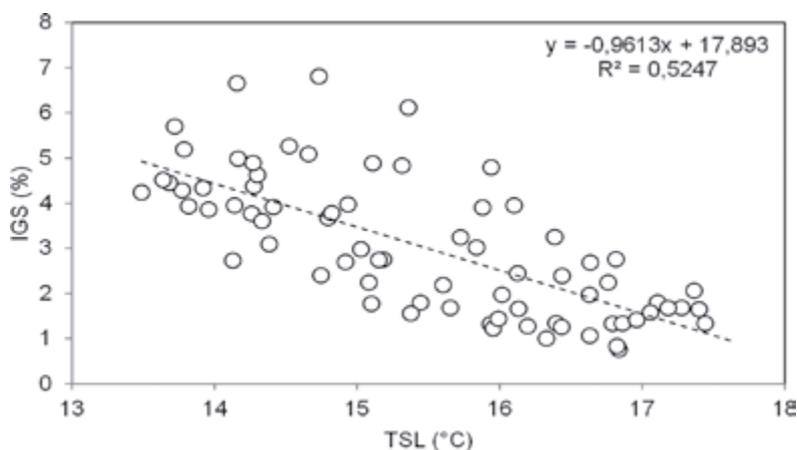


Figura 7.- Relación entre temperatura superficial del lago (TSL) y el índice gonadosomático (IGS) determinado para hembras de pejerrey *Odontesthes bonariensis* en el lago Titicaca, periodo 2009 – 2015. Donde: (○) son los valores de IGS a una temperatura dada y la línea discontinua es la tendencia

En especies sujetas a explotación, la reducción de la talla de primera madurez a menudo se produce como consecuencia de descensos bruscos de la abundancia; puesto que el crecimiento y la maduración dependerían de la densidad poblacional (HELSER

y ALMEIDA 1997, CASSOFF *et al.* 2007). Los cambios temporales en tamaño y edad de la madurez también pueden ser el producto de la respuesta genética, como una estrategia para hacer frente a la presión de pesca (HUTCHINGS 2005).

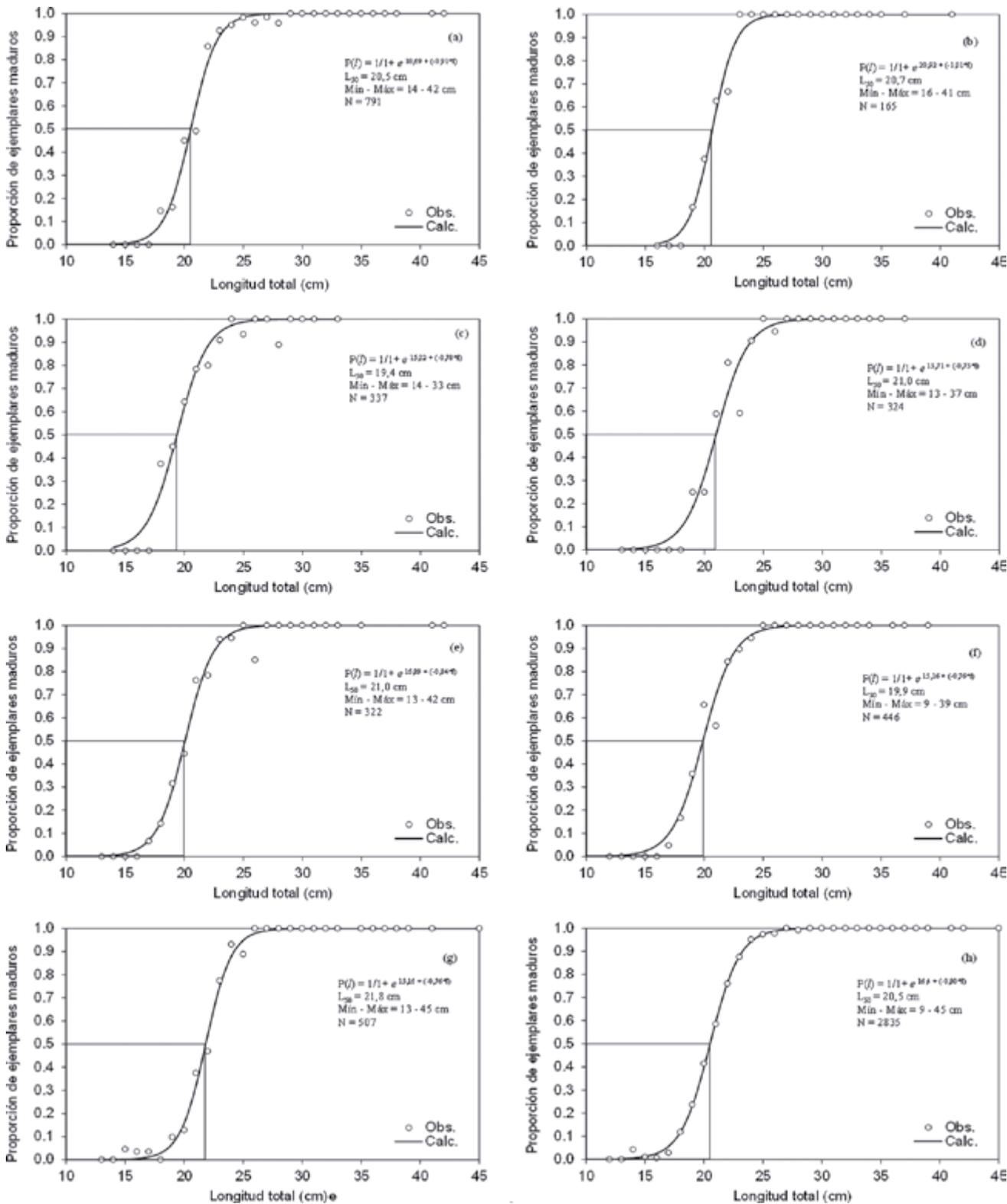


Figura 8.- Tallas de primera madurez (L50) estimadas para las hembras del pejerrey *Odontesthes bonariensis* en el lago Titicaca. Donde a: 2009, b: 2010; c: 2011; d: 2012; e: 2013; f: 2014; g: 2015 y h: 2009 – 2015. En la estimación del 2009 se consideró la información del periodo junio-setiembre y en los otros años el periodo julio-setiembre

Tabla 1.- Parámetros de la estructura poblacional por tallas del "pejerrey" *Odontesthes bonariensis* en el lago Titicaca durante los años 2009 – 2015

Año / parám.	N	Longitud total (cm)			
		Mínima	Máxima	Media ± DE	Moda
2009	18939	12,0	43,0	22,5 ± 3,2	22,0
2010	9525	9,0	41,0	21,2 ± 3,2	20,0
2011	6731	13,0	41,0	22,0 ± 2,7	23,0
2012	7453	4,0	47,0	20,5 ± 5,1	22,0
2013	5627	4,0	44,0	20,0 ± 4,2	22,0
2014	6780	9,0	52,0	22,3 ± 3,2	22,0
2015	6527	8,0	50,0	22,0 ± 3,4	22,0

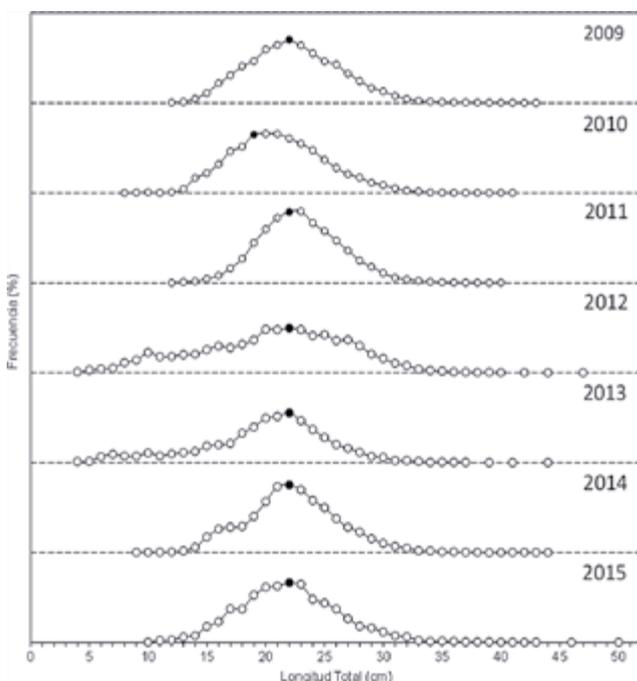


Figura 9.- Estructura poblacional por tallas del pejerrey *Odontesthes bonariensis* en el lago Titicaca, periodo 2009 – 2015. Dónde: (○) indica la clase de talla y (●) la talla modal

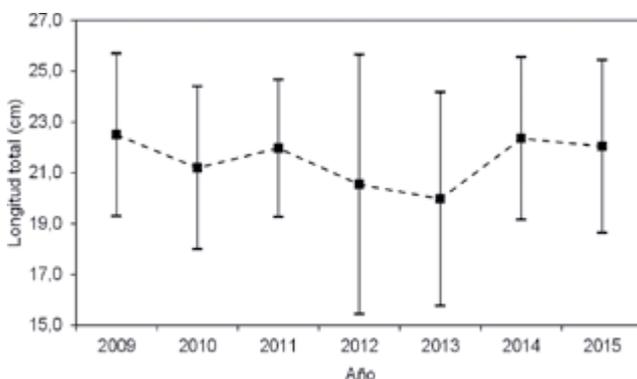


Figura 10.- Variación anual de la longitud promedio del pejerrey *Odontesthes bonariensis* en el lago Titicaca, periodo 2009 – 2015.

Donde (■) es el promedio anual de la longitud total y las extensiones superior e inferior corresponden a su desviación estándar. La línea discontinua indica la tendencia

En la estructura de la población del pejerrey para el periodo 2009-2015, se observó la talla mínima de 4,0 cm en los años 2012 y 2013, y la máxima fue 52,0 cm en el 2014 (Tabla 1, Fig. 9), esto último también fue reportado por DYER (2006).

La talla media anual tuvo tendencia negativa entre el 2009 y 2013, disminuyendo de 22,5 cm a 20,0 cm, pero luego tuvo recuperación hacia el 2015 cuando la talla media fue 22,0 cm (Fig. 10), sin embargo la moda anual mayormente fue 22,0 cm, excepto en 2009 y 2010.

En el análisis gráfico de la proporción de juveniles y adultos muestreados en el periodo de estudio, se observó que en los años 2010, 2013 y 2015, el porcentaje de juveniles superó el 40%, siendo el 2013 el año en el que hubo mayor porcentaje (57,3%). Es importante indicar que las muestras fueron tomadas de las capturas, por lo que es justo enfatizar que durante los años indicados hubo fuerte incidencia de la pesca sobre la extracción de juveniles, lo cual no fue favorable para la población del pejerrey (Fig. 11).

Los resultados de las estimaciones de crecimiento se muestran en la Tabla 2. El índice de performance del crecimiento (ϕ') determinado a partir de L_∞ y K fue variable para el periodo 2009-2015.

El año con ϕ' más bajo fue el 2013 ($\phi' = 2,94$) y más alto fue el 2015 ($\phi' = 3,09$). ϕ' disminuyó del 2009 ($\phi' = 3,02$) hacia el 2013 ($\phi' = 2,94$) y se recuperó en el 2015 ($\phi' = 3,09$) (Tabla 2).

En el análisis de relación entre ϕ' y el promedio anual de la TLS, para el periodo 2010 – 2015, se observó una relación positiva ($b = 0,1707$), donde el grado de correlación (R^2) fue 0,51; es decir a mayor TSL, mayor ϕ' . Esto evidencia que en años relativamente cálidos la eficiencia del crecimiento es mayor (Fig. 12), y vice-versa en años fríos.

En la Figura 13 se aprecian las estimaciones de crecimiento para todos los años del periodo de estudio.

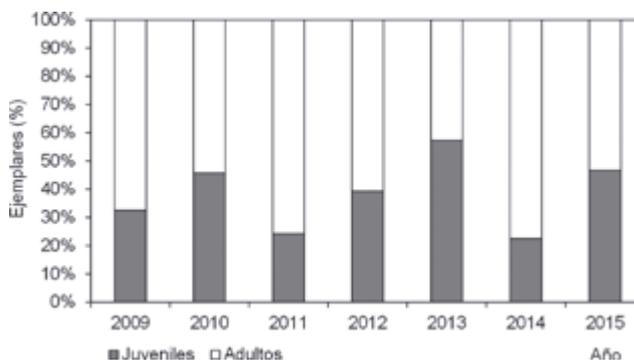


Figura 11.- Variación interanual del porcentaje de juveniles y adultos en la estructura poblacional del pejerrey *Odontesthes bonariensis* en el lago Titicaca, periodo 2009 – 2015

En la estimación del crecimiento del pejerrey en el presente trabajo, a partir de la información acumulada del periodo 2009-2015 (Fig. 14), se observa que los peces alcanzan los 20,0 cm al 1er. año, 29,4 cm al 2do. año, 36,0 cm al 3er. año, 40,8 cm al 4to. año, 44,2 cm al 5to. año y 46,6 cm al 6to. año. Se estimó que alcanzan la longevidad a los 9 años.

Los valores superan a lo estimado por FLORES (2010), BARROS *et al.* (2004), TREVIÑO (1980) y LOUBENS y OSORIO (1988), pero son cercanos a los resultados obtenidos por BUSCHI y FUSTER (1959) así como VILA y SOTO (1981).

Tabla 2.- Parámetros de crecimiento estimados para el pejerrey *Odontesthes bonariensis* y promedios anuales de temperatura superficial (TSL) en el lago Titicaca, periodo 2009-2015

Parámetros	Símb.	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2009-15
Longitud asintótica (L_{∞})	L_{∞}	52,50	43,05	43,05	49,35	46,20	54,60	52,50	52,50
Coef. crecimiento (año^{-1})	k	0,38	0,50	0,55	0,39	0,41	0,34	0,45	0,34
Edad cero (años)	t_0	-0,37	-0,30	-0,27	-0,37	-0,36	-0,41	-0,31	-0,42
Inicio curva (mes)		8	7	8	9	9	9	8	8
Score	Rn	0,172	0,164	0,142	0,160	0,162	0,134	0,156	0,128
Índice de performance	Φ'	3,02	2,97	3,01	2,98	2,94	3,01	3,09	2,97
TSL	°C	14,7	15,5	15,3	15,5	15,3	15,8	15,8	15,4

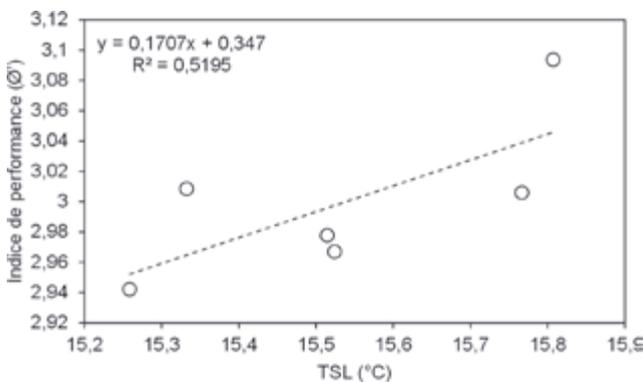


Figura 12.- Relación entre la temperatura superficial del lago (TSL) y el índice de performance del crecimiento (Φ') determinado para el pejerrey *Odontesthes bonariensis* en el lago Titicaca, periodo 2010 - 2015. Donde: (o) son los valores de Phi (Φ') a una temperatura dada, y la línea discontinua es la tendencia

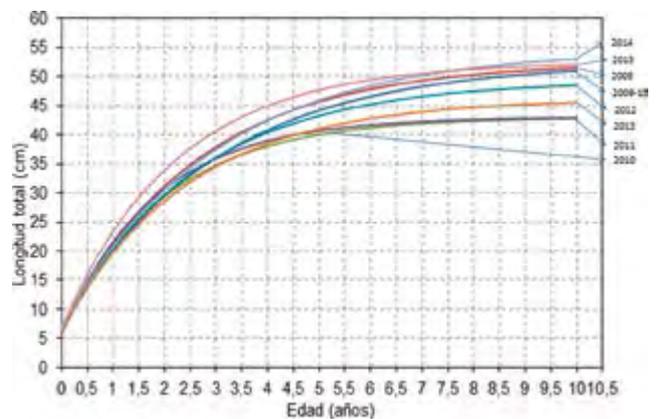


Figura 13.- Proyecciones del crecimiento de pejerrey *Odontesthes bonariensis* en el lago Titicaca, periodo 2009-2015

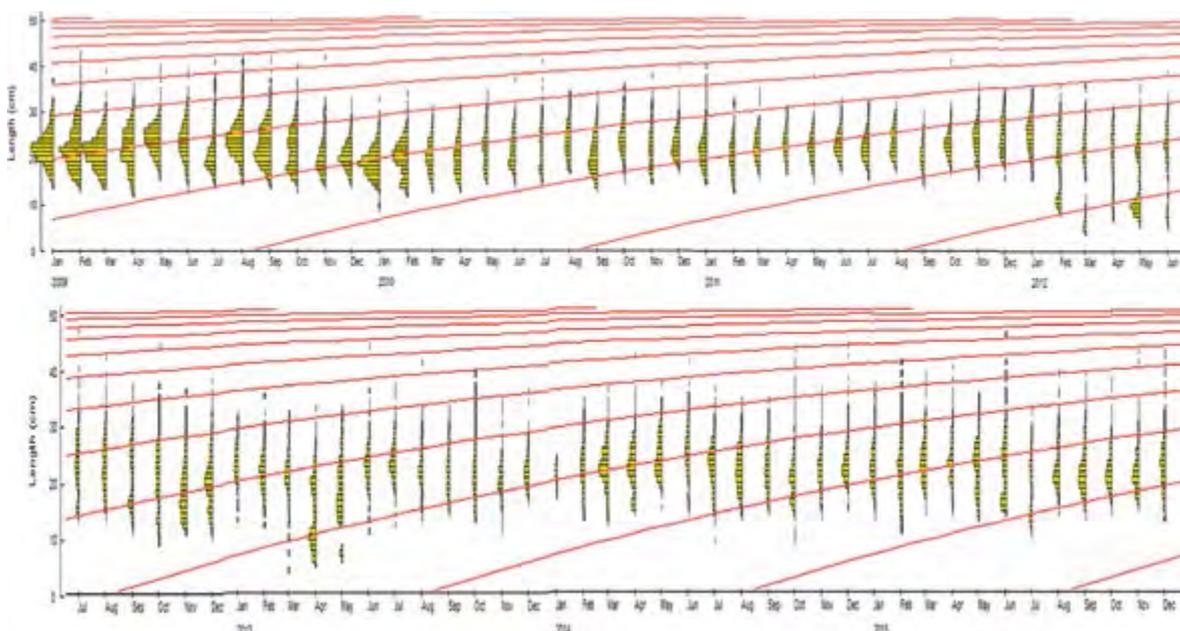


Figura 14.- Histograma de frecuencia de longitudes totales y la curva de crecimiento según la función de von Bertalanffy para el pejerrey *Odontesthes bonariensis* en el lago Titicaca, periodo 2009-2015

4. REFERENCIAS

- ALT – PNUD 2002. Conservación de la diversidad en la cuenca del Lago Titicaca-Desaguadero-Poopó-Salar de Coipasa. Informe Final: Evaluación del potencial de pesca de especies introducidas. 166 pp.
- BARROS SE, REGIDOR H, IWASKIW J. 2004. Biología pesquera del pejerrey *Odontesthes bonariensis* (Cuvier y Valenciennes, 1835) en el subtropical de Argentina. Revista AquaTIC, N° 20: 32-37. <http://www.revistaaquatic.com/aquatic/art.asp?t=p&c=159>
- BOSCHI E, FUSTER M H. 1959. Estudio biológico pesquero del pejerrey del Embalse del Río III. Secretaría de Agricultura y Ganadería. Publicación N° 8. Dpto. de Investigaciones Pesqueras. Nro. 8: 1-61. (Cap. I) (Cap. IV) (Cap. V) (Cap. VIII)
- BUEN F. 1953. Los pejerreyes (Familia Atherinidae) en la fauna uruguaya, con descripción de nuevas especies. Bol. Inst. Oceanogr., Sao Paulo. 4 (1): 3-80.
- BUITRÓN B, PEREA A, MORI J, SÁNCHEZ J, ROQUE C. 2011. Protocolo para estudios sobre el proceso reproductivo de peces pelágicos y demersales. Inf Inst Mar Perú. 38: 373-384.
- BUSTAMANTE E, TREVIÑO H. 1980. Descripción de las pesquerías en el Lago Titicaca 1975-1979. Inst. Mar Perú, Puno. 73 pp.
- CABRERA Y, AGUILAR C, GONZÁLEZ-SANSÓN G. 2008. Indicadores morfológicos y reproductivos del pez *Gambusia puncticulata* (Poeciliidae) en sitios muy contaminados del río Almendares, Cuba. Rev. Biol. Trop. Vol. 56 (4): 191-200.
- CASSOFF R M, CAMPANA S E, MYKLEVOL S. 2007. Changes in baseline growth and maturation parameters of Northwest Atlantic porbeagle, *Lamna nasus*, following heavy exploitation. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 64: 19-29. doi:10.1139/F06-167
- CHURA R, TREVIÑO V. 2010. Talla de madurez y época de desove del pejerrey (*Odontesthes bonariensis* Cuvier & Valenciennes 1835) en el Lago Titicaca. Congreso de Estudiantes de Biología en el 2010.
- CHURA-CRUZ R, CUBILLOS L A, TAM J, MARCELIANO S, VILLANUEVA C. 2012. Relación entre el nivel del lago y la precipitación sobre los desembarques del pejerrey *Odontesthes bonariensis* (Valenciennes, 1835) en el sector peruano del lago Titicaca entre 1981 y 2010. Ecología Aplicada, 12(1): 19-28.
- CUBILLOS L. 2005. Biología pesquera y evaluación de stock. Laboratorio de Poblaciones Marinas y Análisis de Pesquerías, Departamento de Oceanografía, UDEC. Concepción, Chile. 198 pp.
- DYER, B S H. 2006. Systematic revision of the South American silversides (Teleostei, Atheriniformes). BIOCELL, 30(1): 69-88.
- 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.
- FLORES-GÓMEZ S. 2015. Parámetros reproductivos de llambina *Potamorhina altamazonica* (Characiformes: Curimatidae) en el río Ucayali. Rev Inv Vet Perú. 26(2): 223-234. (<http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v26i2.11004>)
- FONTÚRBEL F. 2010. Contaminación hídrica y conservación en el lago Titikaka: ¿Existe suficiente evidencia empírica para tomar acciones concretas? Revista Virtual REDESMA. Vol. 4(2): 57- 62.
- FREYRE L R, COLAUTTI D C, MAROÑAS M E, SENDRA E D, REMES-LENICOV M. 2009. Seasonal changes in the somatic indices of the freshwater silverside, *Odontesthes bonariensis* (Teleostei, Atheriniformes) from a Neotropical shallow lake (Argentina). Braz. J. Biol. 69(2): 389-395.
- GAYANILO F C, PAULY D. 1997. FAO-ICLARM Stock Assessment Tools (FiSAT) Reference Manual. FAO Computerized Information Series (Fisheries). N° 8. Rome. 262 pp.
- GAYANILO F C, SPARRE P, PAULY D. 2005. FAO-ICLARM Stock Assessment Tools II (FiSAT II). Revised version. User's guide. FAO Computerized Information Series (Fisheries) N° 8. Rome. 168 pp.
- GONZALEZ C, ROMÁN E, PAZ X. 2006. Condition and feeding of american plaice (*Hippoglossoides platessoides*) in the north Atlantic with emphasis on the flemish cap. Journal of Northwest Atlantic Fishery Science. Vol. 37: 87-102.
- GULLAND J A, ROSENBERG A A. 1992. Examen de los métodos que se basan en la talla para evaluar las poblaciones de peces. FAO Documento Técnico de Pesca. N° 323. Roma, FAO. 112 pp.
- HELSETERTE, ALMEIDA FP. 1997. Density dependent growth and sexual maturity of silver hake in the north-west Atlantic. J. Fish. Bio. 51: 607-623. doi:10.1111/j.1095-8649.1997.tb01516.x
- HUTCHINGS J A. 2005. Life history consequences of overexploitation to population recovery in Northwest Atlantic cod (*Gadus morhua*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 62: 824-832. doi:10.1139/f05-081
- ILTIS A, CORMOUZE J-P, LEMOALLE J. 2001. Características físico-químicas del agua. En: Dejoux C, Iltis A (Eds). El lago Titicaca: Síntesis del conocimiento limnológico actual. ORSTOM-HISBOL, La Paz, Bolivia. 584 (Capítulo V.I): 107-114 p.
- IMARPE 2008. Anuario Científico Tecnológico IMARPE. Anu cient tecnol IMARPE. Vol. 9. 285 pp.
- IMARPE 2013. Anuario Científico Tecnológico IMARPE. Anu cient tecnol IMARPE. Vol. 13. 212 pp.
- IMARPE 2014. Anuario Científico Tecnológico IMARPE. 238 p. Anu cient tecnol IMARPE. Vol. 14. 241 pp.
- IWASKIW J M, FREYRE L. 1980. Fecundidad del pejerrey *Basilichthys bonariensis* (Pisces, Atherinidae) del embalse Río Tercero, Córdoba. Limnobiós. 2 (1): 36-49.
- JOHANSEN A C. 1924. On the summer and autumn spawning herring of the North Sea. Meddelelser fra Kommissionen for Havundersøgelser. Serie Fiskeri. Bind VII. Nr.5, 119 pp.
- LEAL E, OYARZÚN C. 2003. Talla de madurez y época de desove de la reineta (*Brama australis* Valenciennes, 1836) en la costa central de Chile. Invest. Mar., Valparaíso. 31(2): 17-24.
- LOUBENS G, OSORIO F. 1988. Observations Sur les Poissons de la Partie Bolibiennue du Lac Titicaca. III. *Basilichthys bonariensis* (Valenciennes, 1835). Rev. Hydrobiolog. Trop. 18 (2):153 – 177.
- LOWE-McCONNELL R H. 1987. Ecological studies in tropical fish communities. Cambridge, UK: Cambridge University Press. Citado por Hoenig DJ, Winemiller KO, Layman CA, Arrington DA, Jepsen DB. 2006. Effects of seasonality and migratory prey on body condition of Cichla species in a tropical floodplain river.

- Ecology of Freshwater Fish. 10 pp. doi: 10.1111/j.1600-0633.2006.00152.x
- MERONA B, MOL J, VIGOUROUX R, TARSO P. 2009. Phenotypic plasticity in fish life-history traits in two Neotropical reservoirs: Petit-Saut Reservoir in French Guiana and Brokopondo Reservoir in Suriname. *Neotropical Ichthyology*. 7(4): 683-692.
- MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS (MINEM). 2008. Atlas eólico del Perú (viento medio estacional a 80 m). Dirección General de Electrificación Rural. Departamento de Puno. Lima-Perú. <http://deltavolt.pe/phocadownload/puno.pdf>
- MUNRO J, PAULY D. 1983. A simple method for comparing growth of fishes and invertebrates. *Fishbyte*. 1: 5-6.
- NORTHCOTE T G, MORALES S P, LEVY D A, GEAVEN M S. 1991. Contaminación del Lago Titicaca, Perú. Capacitación, Investigación y Manejo. Instituto Nacional de Lagunas Altoandinas, Westwater Research Centre, University of British Columbia, Vancouver, Canadá.
- ORTEGA H, HIDALGO M, CORREA E, ESPINO J, CHOCANO L, TREVEJO G, MEZA V, CORTIJO A M, QUISPE R. 2011. Lista anotada de peces continentales del Perú. Estado actual del conocimiento, distribución, usos y aspectos de conservación. Museo de Historia Natural, UNMSM. Lima, Perú. 48 p.
- PAULY D. 1979. Theory and management of tropical multispecies stocks. *ICLARM Studies and Reviews N°1*. Manila. Philippines. 35 pp.
- PNUMA 2011. Perspectivas del Medio Ambiente en el Sistema Hídrico Titicaca-Desaguadero-Poopó-Salar de Coipasa (TDPS)-GEO Titicaca. 187 pp.
- SARMIENTO J, AZABACHE L, MARIÑO L, HINOJOSO A. 1987. Sinopsis biológica de las principales especies ícticas del Lago Titicaca. OLDEPESCA. Doc. Pesca N° 007: 173 pp.
- STEARNS S C. 1993. The evolution of life histories. Oxford, New York, Tokyo, Oxford University Press. 249 pp.
- UNEP 1996. Diagnóstico Ambiental del Sistema Titicaca-Desaguadero-Poopo-Salar de Coipasa (Sistema TDPS) Bolivia-Perú.
- VAUX P, WURTSBAUGH W, TREVIÑO H, MARINO I, BUSTAMANTE E, TORRES J, RICHEISON P, ALFARO R. 1988. Ecology of the pelagic fishes of Lake Titicaca, Perú-Bolivia. *Biotopa*. Vol. 20(3): 220-229 p.
- VILA I, SOTO D, 1981. Atherinidae (Pisces) of Rapel Reservoir, Chile. *Verhandlungen Internationale Vereinigung Limnologie*. 21: 1334-1338.

ANEXO

Tabla A.- Coeficientes de la regresión (no lineal) por aplicación de ecuación sinusoidal y correlación del índice gonadosomático (IGS) determinado para hembras de pejerrey *Odontesthes bonariensis* en el lago Titicaca, periodo 2009 – 2015

Parámetros/año	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Coeficiente <i>a</i>	2,70	3,00	2,90	4,09	2,81	3,08	3,26
Coeficiente <i>b</i>	1,23	2,25	1,67	2,76	1,60	2,01	2,00
Coeficiente <i>c</i>	0,65	0,73	0,64	0,57	0,54	0,61	0,62
Coeficiente <i>d</i>	-5,15	-5,33	-4,86	-4,35	-4,63	-4,95	-4,96
Coef. determinación (R ²)	0,72	0,69	0,70	0,85	0,67	0,69	0,69

Tabla B.- Coeficientes de la regresión (no lineal) por aplicación de ecuación sinusoidal y correlación del índice de actividad reproductiva (IR) determinado para hembras de pejerrey *Odontesthes bonariensis* en el lago Titicaca, periodo 2009 – 2015

Parámetro/año	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Coeficiente <i>a</i>	15,14	17,41	9,96	9,96	8,34	10,68	9,85
Coeficiente <i>b</i>	9,26	13,77	10,31	10,31	8,09	10,25	5,92
Coeficiente <i>c</i>	0,72	0,79	0,54	0,54	0,55	0,55	0,55
Coeficiente <i>d</i>	-5,26	-5,15	-4,05	-4,05	-4,29	-4,29	-4,54
Coef. de determinación (R ²)	0,60	0,79	0,54	0,82	0,80	0,64	0,40

Nota: los periodos indicados se fijaron debido a que se tuvo mejor ajuste en el análisis de serie de tiempo

Tabla C.- Coeficientes de la regresión (no lineal) por aplicación de ecuación sinusoidal y correlación del factor de condición (FC) determinado para hembras de pejerrey *Odontesthes bonariensis* en el lago Titicaca, periodo 2009 – 2015

Parámetro/periodo	ene 09 - jul 10	ago 10 - feb 12**
Coeficiente <i>a</i>	0,53	0,53
Coeficiente <i>b</i>	0,02	0,02
Coeficiente <i>c</i>	0,47	0,53
Coeficiente <i>d</i>	-0,13	1,53
Coef. determinación (R ²)	0,59	,51

**La ecuación del periodo mayo - 2012 se aplicó al periodo mayo 2013 - diciembre 2015.