BIOMASA Y DISTRIBUCIÓN DE LOS PRINCIPALES RECURSOS PESQUEROS DEL LAGO TITICACA

BIOMASS AND DISTRIBUTION OF THE MAIN FISHERY RESOURCES OF LAKE TITICACA

Carlos Valdez[1] *Gustavo Cuadros*

RESUMEN

Valdez, C., Cuadros, G. (2022). Biomasa y distribución de los principales recursos pesqueros del lago Titicaca. Inf Inst Mar Perú. 49(4): 523-531.- El estudio se realizó entre el 10 y 23 de julio 2019 en el Lago Titicaca usando la lancha pesquera de investigación IMARPE VIII (Cr. 1907). El objetivo de este trabajo fue determinar abundancia, distribución espacial y biomasa del ispi (*Orestias ispi*), carachi amarillo y gris (*Orestias luteus* y *Orestias agassii*), pejerrey (*Odontesthes bonariensis*) y trucha (*Oncorhynchus mykiss*). Se utilizó el sistema acústico SIMRAD de 120 kHz y una red de arrastre pelágica. Las estimaciones de la biomasa acústica en toneladas del ispi, carachi amarillo, pejerrey y trucha en el área de estudio fueron 50.844, 1.019, 9.932 y 14.150, respectivamente. El ispi tiene un patrón de comportamiento vertical, se observó que se distribuye de manera continua desde 40 hasta 110 metros de profundidad, en capas de 30 m de altura aproximadamente. Todos los valores del Centro de Gravedad calculados, se encuentran dentro de una circunferencia con diámetro de 10,42 mn frente a isla Taquile.

Palabras clave: lago Titicaca, acústica, distribución, biomasa, distribución vertical

ABSTRACT

Valdez, C., Cuadros, G. (2022). Biomass and distribution of the main fishery resources of Lake Titicaca. Inf Inst Mar Perú. 49(4): 523-531.- Between 10 and 23 July 2019, we conducted a study in Lake Titicaca using the research fishing boat IMARPE VIII (Cr. 1907). Our work aimed to determine the abundance, spatial distribution, and biomass of *Orestias ispi*, *Orestias luteus*, *Orestias agassii*, *Odontesthes bonariensis*, and *Oncorhynchus mykiss*. To do so, the 120 kHz SIMRAD acoustic system and a pelagic trawl were used. Estimates of acoustic biomass in tons of *O. ispi*, *O. luteus*, *O. bonariensis*, and *O. mykiss* in the study area were 50,844; 1,019; 9,932, and 14,150, respectively. *O. ispi* has a vertical behavior pattern, being distributed continuously from depths of 40 to 110 meters, in layers of approximately 30 m in height. All calculated Center of Gravity values are found within a circumference with a diameter of 10.42 nm off Taquile Island.

Keywords: Lake Titicaca, acoustics, distribution, biomass, vertical distribution

1. INTRODUCCIÓN

El Lago Titicaca, ubicado a 3.810 metros sobre el nivel del mar (Richerson *et al*., 1977), es el lago navegable más alto del mundo. Está dividido en dos cuencas lacustres: el Lago Menor (Huiñaimarca) y el Lago Mayor (Chucuito). Estas dos partes se unen por el estrecho de Tiquina de 800 m de ancho. La profundidad máxima en el Lago Mayor es de 285 m mientras que el Lago Menor alcanza hasta 40 m (Dejoux & Iltis, 1991).

Este lago es un ecosistema acuático con variados componentes biológicos, los cuales se constituyen en recursos naturales susceptibles de aprovechamiento económico. Siendo los más importantes, los peces nativos de los géneros *Orestias* y *Trichomycterus*, que conforman parte importante de la dieta alimentaria de las comunidades circunlacustres, y que también son comercializados en el mercado regional junto con especies introducidas como la trucha y el pejerrey. La extracción de recursos pesqueros en el lago Titicaca está marcada por una constante actividad en toda su ribera y durante todo el año.

Entre las especies ícticas de mayor importancia comercial destacan ispi, trucha, pejerrey y el carachi amarillo. Siendo ispi el recurso de mayor abundancia y disponibilidad para la pesquería del lago con destino al consumo humano directo (CHD) e indirecto (CHI). Entre estas especies, en el tercer trimestre 2019 la trucha y el pejerrey presentaron mayores volúmenes de desembarque, seguidos por el carachi amarillo.

El cultivo de trucha, la extracción del ispi y el pejerrey representan la principal fuente de ingreso económico para las poblaciones asentadas en las riberas del lago. Con el fin de lograr la sostenibilidad de estas especies y así garantizar esa actividad económica, es necesario realizar estudios para conocer el estado de los recursos pesqueros, para esto se realizan cruceros de investigación en el lago; el objetivo del presente trabajo fue estimar abundancia y distribución espacial del ispi, carachi (amarillo y gris), pejerrey y trucha para el manejo integral del ecosistema del lago Titicaca.

1 Área Funcional de Hidroacústica - Dirección General de Investigaciones de Hidroacústica, Sensoramiento Remoto y Artes de Pesca - Instituto del Mar del Perú. cvaldez@imarpe.gob.pe

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

La prospección acústica se realizó en el lago Titicaca (lago mayor y menor), Perú-Bolivia a bordo de la LP IMARPE VIII del 10 al 23 de julio 2019 (Fig. 1).

Diseño de muestreo

El diseño de evaluación fue sistemático a través de transectos paralelos de longitud variable entre 10 y 30 mn, con separación promedio de 5 mn según la ribera del lago. El rastreo acústico total fue de 397 mn.

Sistema acústico

El rastreo acústico se realizó con ecosonda científica portátil marca SIMRAD (Kongsberg, Noruega) modelo EY60, con frecuencia de 120 kHz *split-beam* modelo ES120-7C, conectado mediante ethernet y posicionador satelital GPS (Garmin GPSMAP 60 CSx) interfasados con el uso del programa ER60 instalado en una laptop (visualizador y almacenador de datos). Los transductores fueron montados en la banda de babor con un soporte hidrodinámico de aluminio a 0,5 m de la superficie con ángulo de emisión vertical. La velocidad promedio de navegación fue 5 nudos. La configuración de la ecosonda EY60 se muestra en la (Tabla 1).

Calibración del sistema acústico

Se realizaron los procedimientos señalados por el fabricante (Kongsberg Maritime AS, 2012), que sigue las recomendaciones efectuadas por Simmonds *et al*. (1992). Estas recomendaciones permiten el uso cuantitativo de las mediciones acústicas y se basa en la medición de la reflectividad de un blanco estándar (de cobre o tungsteno) suspendido bajo el haz del transductor (Foote *et al*., 1983) cuya fuerza de blanco (TS, *Target Strenght*) es conocida.

Colecta de datos acústicos

El muestreo acústico se realizó durante y entre las operaciones de pesca desde las 06:00 hasta las 17:00 horas. La trasmisión de los pings fue simultánea y controlada a través del programa ER60 versión 2.4, instalado en una computadora con sistema operativo Windows 10. La duración de pulso y los intervalos de emisión fueron de 0,512 ms y 0,5 ping por segundo. La unidad básica de muestreo (UBM; Simmonds & MacLennan, 2005) fue de 1 milla náutica y verticalmente hasta 300 m de profundidad. Los datos fueron grabados en formato RAW de SIMRAD con tamaño máximo de archivo de 20 MB. La velocidad de navegación nominal para la colecta de datos fue de 5 a 6 nudos (9 a 10,8 km/h, aproximadamente).

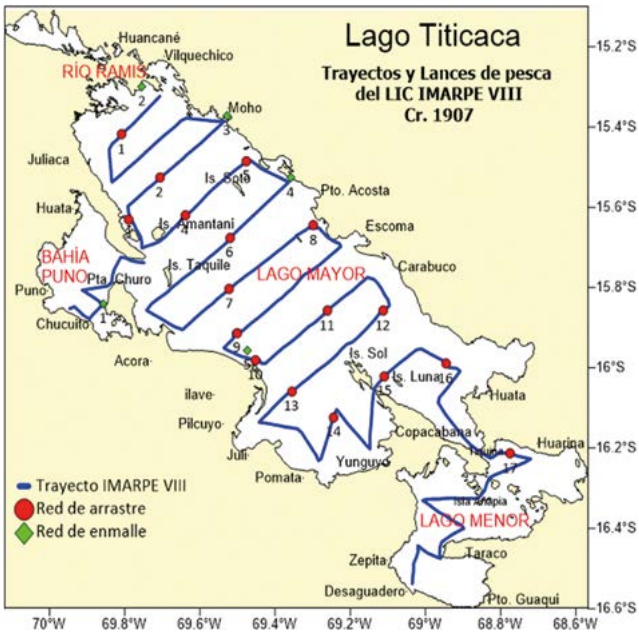

Figura 1.- Trayectos y operaciones de pesca

Tabla 1.- Configuración de la ecosonda EY60

Parámetro	120 kHz
Duración de pulso (ms)	0,512
Tasa de emisión de ping/s	0,5
Potencia (w)	250
Min. *Echolength*	0,8
Max. *Echolength*	1,8
Max. *Phase deviation*	8
Max. *Gain comp*. (dB)	6
Profundidad del transductor (m)	0,5
Velocidad del sonido ($m.s^{-1}$)	1 463,0
Coeficiente absorción (dB m^{-1})	0,0045
Ganancia (dB)	26,76
Sacorregido (dB)	-0,44

Operaciones de pesca

Los métodos acústicos requieren la ejecución de operaciones de pesca para identificar los ecotrazos registrados en ecogramas y conocer la estructura de tallas y aspectos biológicos de las especies en estudio. Se realizaron 17 operaciones de pesca con red de arrastre pelágico de media agua para capturar ispi y 5 lances de redes de enmalle para capturar las otras especies objetivo (carachi, pejerrey y trucha). El tiempo de arrastre efectivo fue de 25 minutos, en promedio. Las redes de enmalle se tendieron en las riberas de lago con un tiempo de reposo entre 10 y 12 horas desde el anochecer hasta el amanecer.

Tabla 2.- Variables estimadas de los variogramas para cada especie

Especie	Función	*nugget*	*Sill*	*range*	*Krige.var* < (*)
Ispi	Esférica	0,180	0,630	0,080	0,85
Carachi amarillo	Exponencial	0,170	0,540	0,360	0,25
Pejerrey	Esférica	0,020	0,150	0,130	0,19
Trucha	Esférica	0,200	0,360	0,110	0,60

(*) valor límite de la variación del *kriging* para evitar interpolaciones fuera de los límites del lago

Análisis de los datos acústicos

La data acústica fue procesada usando el programa *Echoview* 8,0, con el módulo *Detect School* para la clasificación y extracción de cardúmenes de ispi y carachi, mientras que para el pejerrey y la trucha se usó el módulo *Single Target Detection Split beam (method 2)* para detectar objetos individuales con *TS* (*Target strength*, Fuerza de blanco) mayor a -47 dB. La información acústica se exportó en bitácoras georreferenciadas con los valores NASC (*Nautical area scattering coefficient*, m^2/mn^2) por cada UBM para las especies en estudio y para todas las especies se exportaron bitácoras de regiones.

Para generar las grillas de distribución y mapas temáticos (Castillo *et al*., 2009), se interpolaron las bitácoras georreferenciadas usando los módulos de interpolación *kriging* del programa Surfer 15 (*Golden Software, Colorado, USA*) y luego se calcularon las áreas de distribución.

Para la distribución vertical se crearon gráficos de profundidad media versus valores ecointegrados (NASC, transformados en logaritmos para mejorar su visualización), además de *boxplots* de las profundidades medias de los cardúmenes.

Para obtener la profundidad media ponderada a la energía acústica (PMPEA) de cada especie, de la bitácora de regiones se multiplicó la profundidad de cada cardumen por su valor NASC correspondiente, la sumatoria total de este producto se dividió entre la sumatoria del NASC para obtener la PMPEA.

También se creó un índice de distribución vertical (IDV) en metros que permite identificar un patrón de distribución observado en el ispi. Este IDV (en metros) se obtiene restando el fondo y la profundidad media de los cardúmenes obtenida de las bitácoras de regiones.

La estimación de biomasa se realizó mediante el método geoestadístico, analizando el comportamiento espacial de los datos para cada especie, las variables del variograma calculadas para cada conjunto de datos (Tabla 2) se agregaron a la interpolación *kriging* para la estimación de NASC (m^2/mn^2) a 1 milla náutica de resolución usando el programa estadístico R – paquete geoR (http://www.leg.ufpr.br/geoR).

Cada valor de ecointegración interpolada para cada milla náutica fue llevada a un valor de biomasa aplicando las fórmulas, usando los respectivos valores de $TS_{kg\text{-}120\ kHz}$ (fuerza de blanco normalizada a 1 kg) para cada una de las especies evaluadas: $ispi_{120kHz}$ = -31,62 dB, $carachi_{20kHz}$ = -36,54 dB, $pejerrey_{120kHz}$ = -35,3 dB y $trucha_{120kHz}$ = -35 dB. Así la biomasa total para cada especie es el resultado de la suma de cada nodo.

El centro de gravedad (CG) es un vector de dos dimensiones que representa el centro de la masa de una población, el CG es calculado utilizando el valor NASC de la especie y las coordenadas de cada UBM. La inercia (I) mide la dispersión y/o concentración espacial de una población respecto a su centro de gravedad. Las poblaciones se distribuyen en diversas direcciones debido a necesidades sociales (como la reproducción) y a forzantes ambientales (como las masas de agua) (Bez, 2007). Estos índices fueron calculados con el paquete AcousticR (AFH - Imarpe) del 2015 al 2019.

3. RESULTADOS

Calibración del sistema acústico

Se realizó en la isla de los Uros, Bahía de Puno (15°49,17'S, 69°58,24'W) usando la esfera de cobre de 23 mm de diámetro a través del programa ER60 versión 2.4.2. Se ingresaron los valores de temperatura (13,2 °C) y salinidad (0,5 UPS) registrados a 7 m de profundidad. La velocidad del sonido fue calculada automáticamente por la ecosonda (1.463,0 m/s) (Mackenzie, 1981; Del Grosso & Mader, 1972) así como el coeficiente de absorción (120 kHz: de 0,005 dB/m) (Francois & Garrinson, 1982). Se obtuvo un valor aceptable (~ 0,25 dB) de desviación RMS según el modelo del haz solo para la frecuencia de 120 kHz (Kongsberg Maritime AS, 2012).

Distribución y biomasa de recursos

Ispi (*Orestias* sp.)

El ispi es la especie más abundante del lago, en la distribución se observa un registro muy denso entre Yunguyo e isla del Sol, y registros densos frente al noroeste de isla Amantani y al sureste de isla Taquile; frente a Puerto Acosta se observaron varios núcleos pequeños. También, se detectaron pequeños núcleos poco densos frente a Acora e Ilave, y frente a Huata (Fig. 2).

El área de distribución del ispi fue de 1.462,33 mn^2 con biomasa estimada, por método geoestadístico, de 50.844 t (Tabla 3).

Verticalmente, encontramos al ispi a partir de 2 metros de profundidad. El PMPEA fue de 64 m y la profundidad máxima fue hasta 140 m (Fig. 3). Además, el boxplot de la figura 3 muestra un grupo de concentración entre profundidades de 43 a 78 m. En el gráfico de dispersión se observan cardúmenes poco densos entre 10 y 40 m. La mayor concentración de ispi se encuentra entre 40 y 110 m (Fig. 3).

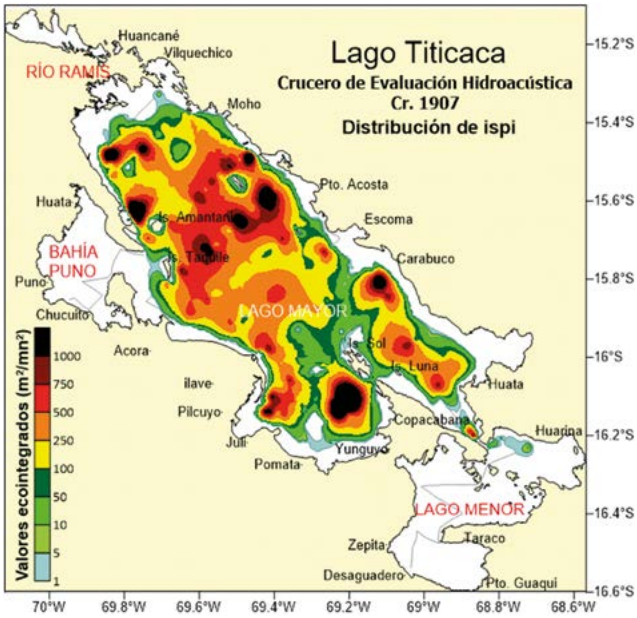

Figura 2.- Distribución de ispi

Tabla 3.- Resumen de los resultados de biomasa, área y densidad del ispi, carachi y pejerrey

Especie	Biomasa (t)	Área (mn^2)	Densidad (t/mn^2)
Ispi	50.844	1.462,33	34,77
Carachi	1.019	144,39	7,05
Pejerrey	9.932	156,75	63,36
Trucha	14.150	300,47	47,09

Carachi amarillo y gris (*Orestias luteus* y *Orestias agassii*)

El carachi se distribuyó principalmente formando núcleos dispersos y poco densos. El núcleo más importante se encontró frente al río Ramis. Los demás núcleos se registraron en la bahía de Puno, islas Taquile y Amantani, Escoma, Ilave, Yunguyo e isla Sol. En el lago Menor se detectaron registros densos en Tiquina y Zepita y registros débiles continuos a lo largo de la navegación (Fig. 4).

El área de distribución fue 144,39 mn^2 con biomasa estimada de 1.019 t (Tabla 3).

El carachi se registró verticalmente hasta 40 m de profundidad, su PMPEA fue de 6 m. No se observó un patrón de comportamiento vertical durante las horas del día.

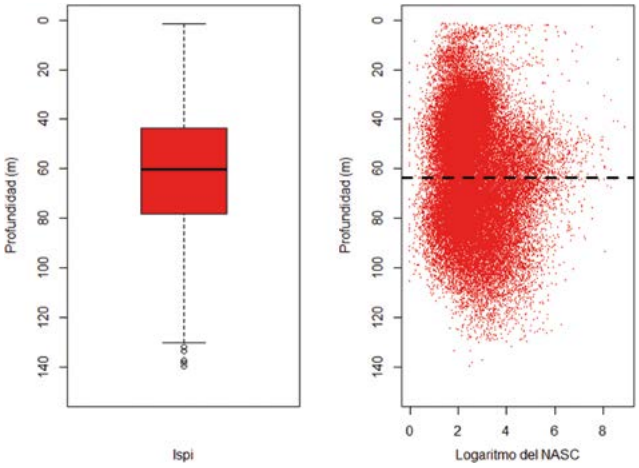

Figura 3.- Izquierda: boxplot de profundidad media de cardúmenes de ispi. Derecha: profundidad media de los cardúmenes versus el logaritmo del NASC. La línea negra punteada indica el PMPEA

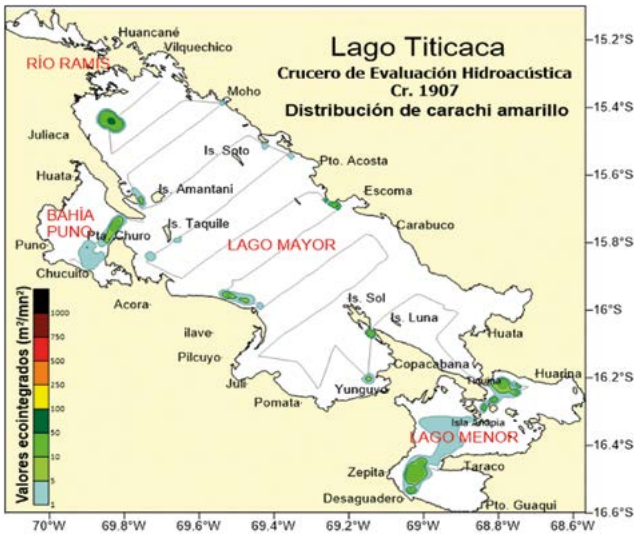

Figura 4.- Distribución de carachi amarillo

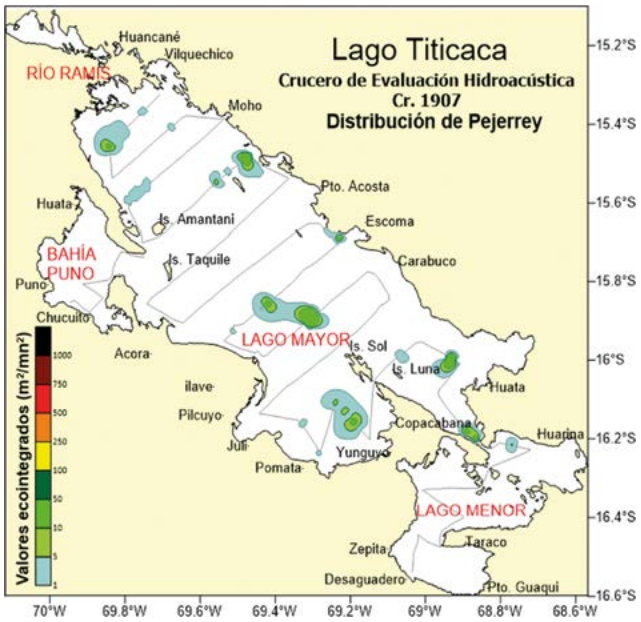

Figura 5.- Distribución de pejerrey

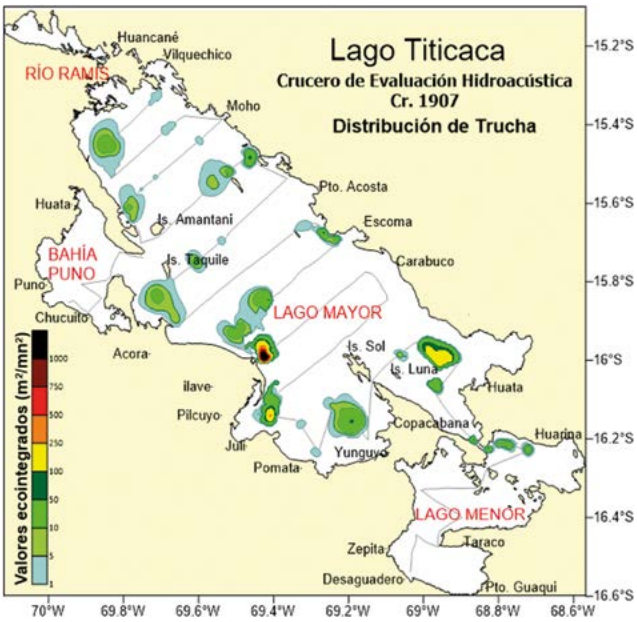

Figura 6.- Distribución de trucha

En el *boxplot* se observó un grupo concentrado entre 5 y 12 m. En el gráfico la dispersión más densa se encontró sobre 12 m de profundidad. Debajo de los 12 m se encontraron agregaciones pequeñas y más dispersas (Fig. 7).

Pejerrey (*Odontesthes bonariensis)*

El pejerrey se distribuyó en siete núcleos en el lago Titicaca, cinco poco densos frente a Tilali, isla Sol, Pomata, Huata y Tiquina y los menos densos frente al río Ramis y Camachica (Fig. 5). El área de distribución fue de 156,75 mn^2 y la biomasa estimada por método geoestadístico fue de 9.932 t (Tabla 3).

Verticalmente el pejerrey se encontró en un rango de 2 a 103 m, la PMPEA fue de 43 m. Se observa en el *boxplot* un grupo entre 31 y 53 m. En toda la columna de agua hay mucha dispersión de cardúmenes (Fig. 7).

Trucha (*Oncorhynchus mykiss*)

La trucha mostró un núcleo denso frente a Ilave, y otros grandes núcleos menos densos frente a río Ramis, Camachica, Tilali, Juli, Yunguyo y frente a isla Luna; además tres núcleos dispersos al oeste de isla Soto, Escoma y Huatajata (Fig. 6).

El área de distribución fue de 300,47 mn^2 y la biomasa estimada por método geoestadístico fue de 14.150 t (Tabla 3).

A nivel vertical la trucha se encontró desde 2 hasta 95 m, la PMPEA fue de 40 m. Se observa en el *boxplot* un grupo entre 21 y 45 m. Debajo de 45 metros las concentraciones de trucha comienzan a disminuir (Fig. 7).

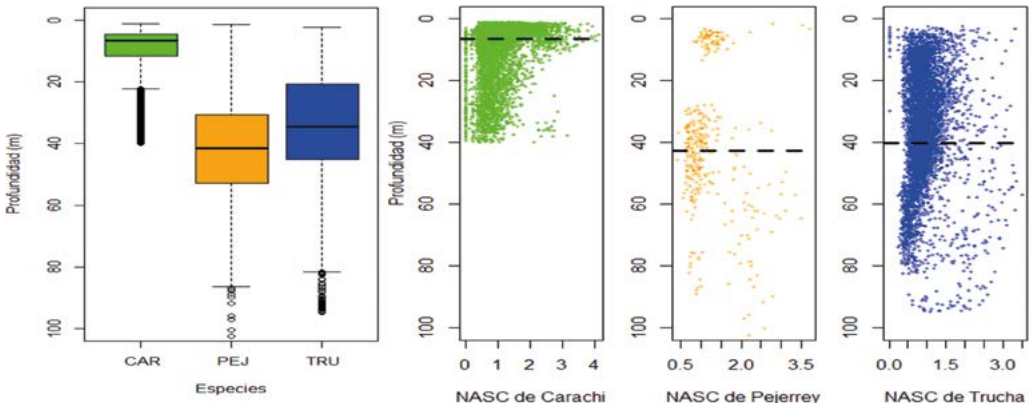

Figura 7.- Izquierda: *boxplot* de profundidad media de los cardúmenes de carachi amarillo (CAR), pejerrey (PEJ) y trucha (TRU). Derecha: profundidad media de los cardúmenes vs el valor logarítmico NASC de carachi, pejerrey y trucha. Las líneas negras punteadas indican el PMPEA

4. DISCUSIÓN

Comportamiento vertical

En la figura 8, lado izquierdo, se ve representado IDV de manera conceptual. En la parte derecha podemos observar que los colores más oscuros representan mayor diferencia en profundidad. Para este crucero, la mayor IDV (puntos negros, entre 120 y 160 m) se ubicó al noreste del lago Titicaca entre Moho y Escoma. Al centro del lago se encontraron diferencias de IDV entre 90 y 120 m. Los valores inferiores a 90 m de IDV estuvieron en los bordes del lago. Se observan valores que se encuentran dentro de la isobata de 140 m (línea azul), eso quiere decir que se asocia al fondo hasta esta profundidad. Dentro de la isobata de 140 m se amplía la diferencia de IDV, mayores a 90 m.

Para los cuatro ejemplos de ecogramas comprimidos de los transectos de la Fig. 9, se observa una delimitación vertical de los cardúmenes de ispi sobre los 100 m. Además, se observa una capa continua a lo largo de todo el transecto para los cuatro ecogramas.

Serie de tiempo de biomasa

Durante el periodo 2014-2019 se registró el máximo valor estimado de biomasa hidroacústica del ispi en invierno 2014 con 82.517 t, las biomasas han fluctuado entre 69.066 t y 82.517 t del 2014 al 2018, pero para este crucero se determinó fuerte

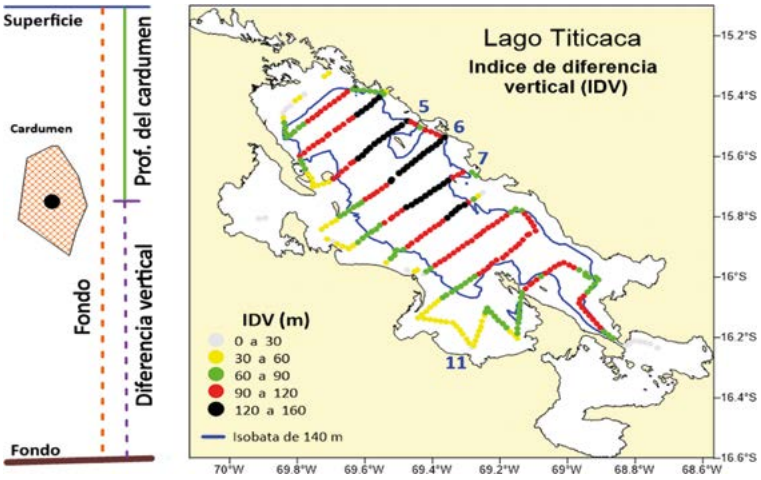

Figura 8.- Izquierda: gráfico conceptual del IDV. Derecha: índice de diferencia vertical (IDV) entre el fondo y la profundidad media de los cardúmenes del ispi

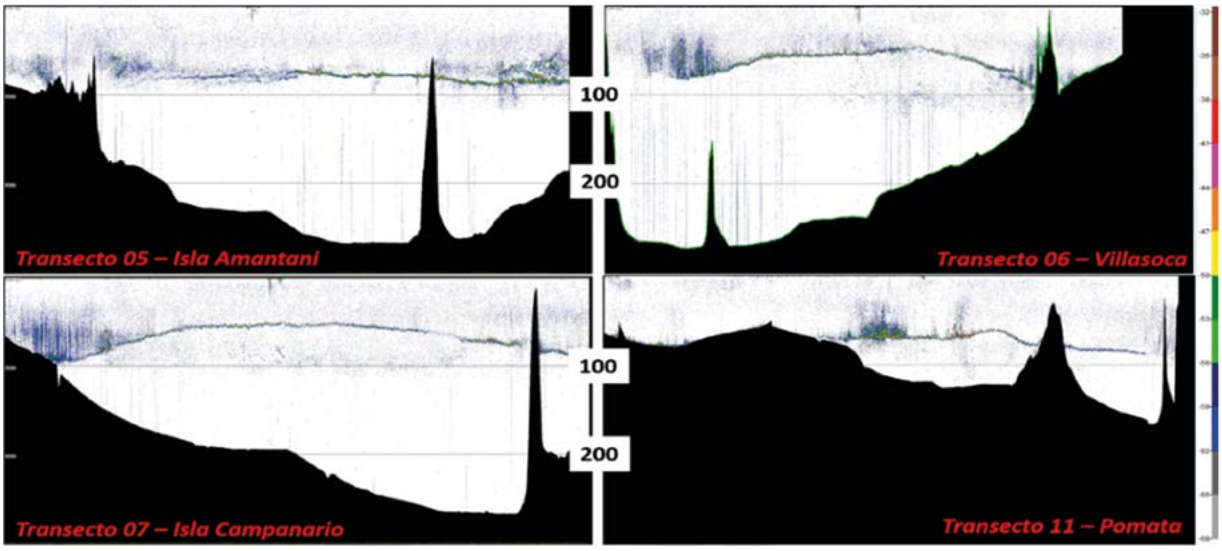

Figura 9.- Ecogramas sintéticos (regiones de ispi) comprimidos de cuatro transectos (5, 6, 7 y 11). Las líneas grises horizontales indican 100 y 200 metros de profundidad, respectivamente

descenso de la biomasa en comparación a la serie de tiempo. La biomasa calculada fue de 50.844 t, 31% menor que la hallada para el 2018 (Fig. 10). Cabe resaltar que los cálculos de biomasa con geoestadística se han aplicado a partir del año 2019.

La biomasa del carachi registró su máximo valor el 2014 con 3.208 t (2014-2019), del 2015 al 2018 se ha mantenido sobre las 1.000 toneladas. Para este crucero, se calculó un valor similar al hallado el 2018, que fue de 1.018 t (Fig. 10).

Los desembarques de pejerrey disminuyeron en 68,7% para el periodo 1985-2012 (R. Chura, comunicación personal, 12-04-19). Esta misma tendencia se observa en la serie de tiempo de biomasa. Entre 2014 y 2016 se recuperó ligeramente. A partir del 2017 estas biomasas comenzaron a descender, obteniéndose en este crucero 9.932 t (Fig. 10).

Desde el 2015, se comenzó a evaluar la trucha, sus valores de biomasa han sido más fluctuantes, de 13 a 18 mil toneladas entre 2015 y 2019. Para esta campaña se incrementó ligeramente a 14.150 t, valor similar al hallado el 2018 (Fig. 10).

Centro de gravedad (CG) e inercia (I) del ispi

En la Fig. 11 se puede observar los CG e I calculados para cada año. El CG calculado para el ispi en los cruceros de 2015 a 2019, muestran concentración dentro de un círculo de 6 mn de radio al este de la isla Taquile. El 2016 este CG se trasladó 8,2 mn al sureste con respecto al 2015, para el 2017 se trasladó ligeramente 4,4 mn al noroeste, el año 2018 al oeste 4,6 mn y finalmente para el año 2019 se desplazó 6,3 mn al este (Fig. 12). Al parecer la variación de las condiciones limnológicas son homogéneas en todo el lago, que hace que el centro de gravedad y la inercia se mantengan en una misma zona, esto debe ser comparado con los perfiles tomados por el CTD en toda la campaña de navegación.

La inercia abarca casi la misma zona y tiene la misma orientación, que es la misma que la del lago. La serie de tiempo de la inercia muestra que el 2015 tuvo mayor dispersión con respecto al centro de gravedad, del 2016 al 2018, fue disminuyendo paulatinamente, y el 2019 la dispersión subió ligeramente, que fue la mitad de fuerte en relación al 2015 (Figs. 12, 13).

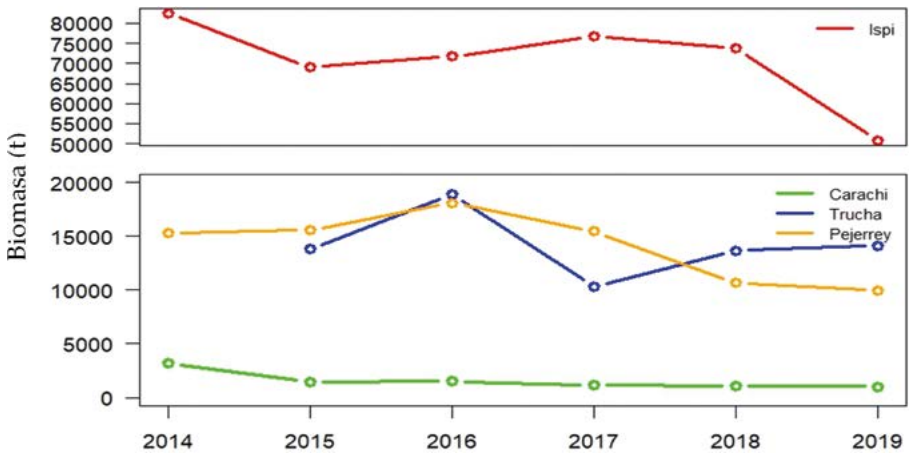

Figura 10.- Biomasa (t) por especie, 2014 - 2018

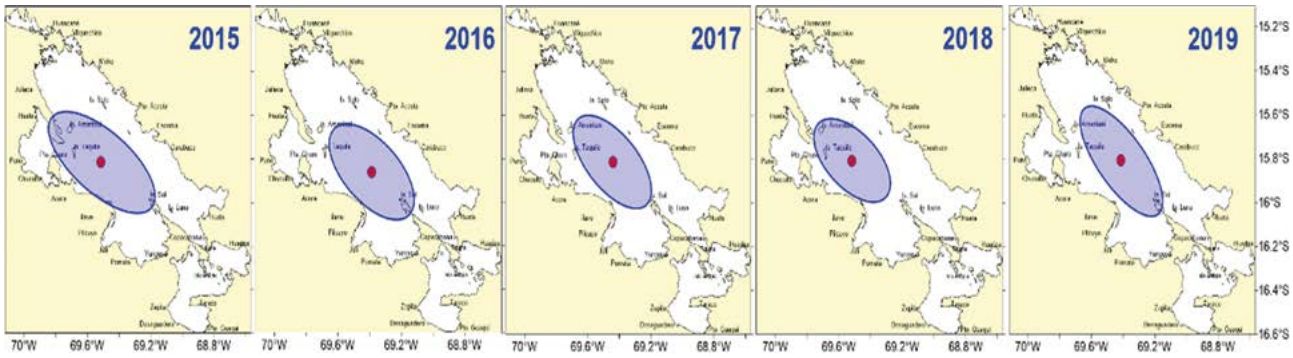

Figura 11.- Mapas del centro de gravedad (puntos rojos) e inercia (elipse azul) del ispi por año (2015 - 2019)

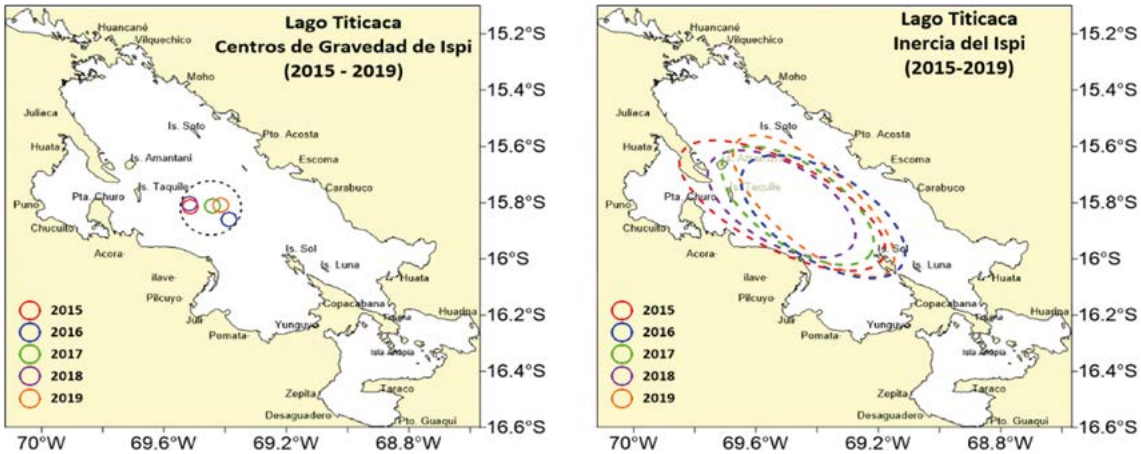

Figura 12.- Izquierda: Mapa de CG agrupados (2015 – 2019), el circulo negro indica agrupación de los CG. Derecha: Las elipses punteadas indican inercia por año

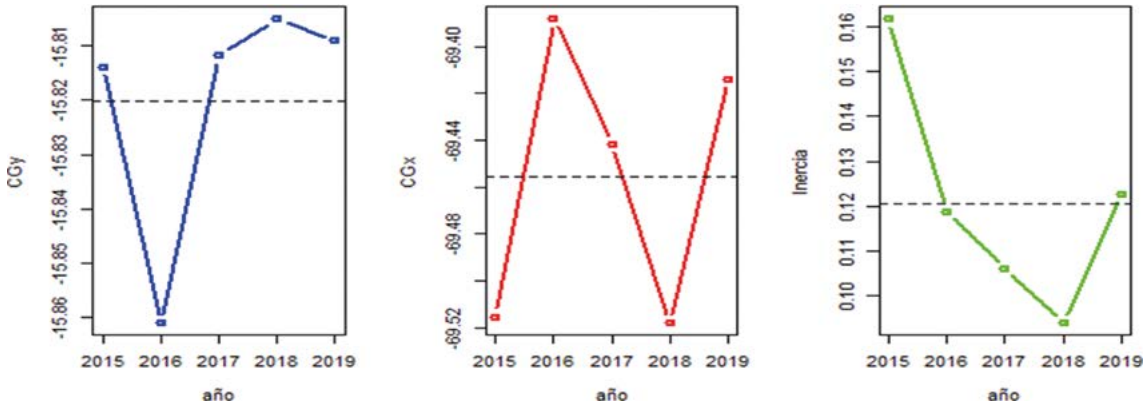

Figura 13.- Serie de tiempo de CGy, CGx e Inercia (de derecha a izquierda) (2015 – 2019). Líneas punteadas indican promedio de cada índice

5. CONCLUSIONES

El ispi, fue la especie más abundante, registró densidades altas, principalmente en la zona al este de Capachica, al oeste de Puerto Acosta y al oeste de Pomata.

La biomasa estimada en toneladas por el método geoestadístico del ispi, carachi, pejerrey y trucha, fueron 50.844, 1.019, 9.932 y 14.150, respectivamente (Tabla 3).

El área de distribución total en millas náuticas cuadradas del ispi, carachi, pejerrey y trucha fueron 1.462,33; 144,39; 156,75 y 300,47, respectivamente, los tipos de concentraciones fueron principalmente "muy densas" y "densas" para el recurso ispi mientras que el carachi amarillo estuvo muy disperso en las orillas. Para la trucha y el pejerrey fueron del tipo "dispersas" (Tabla 3).

Las densidades en función a las áreas de distribución del ispi, carachi, pejerrey y la trucha fueron 34,77 t/mn^2, 7,05 t/mn^2, 63,36 t/mn^2 y 47,09 t/mn^2, respectivamente (Tabla 3).

El ispi a partir de 140 m de profundidad forma una capa constante y densa entre 57 y 85 m, aproximadamente (Fig. 9).

Los centros de gravedad del ispi no variaron considerablemente en la serie de tiempo 2015-2019, es decir, se encontraron dentro de una circunferencia de 6 mn de radio al este de isla Taquile. El componente latitudinal del CG (CGy) muestra que para el 2015 el centro de masa estuvo al norte, se trasladó al sur el 2016, y en los años posteriores se desplazó y mantuvo al norte. En el componente longitudinal (CGx) se observa que para el 2015 el centro de masa estuvo al este, para el 2016 se desplazó al oeste, volvió al oeste el 2018 y nuevamente se trasladó al este el 2019 (Fig. 13).

La inercia muestra que el 2015 fue el año con mayor dispersión, esta dispersión con respecto al centro de gravedad fue bajando paulatinamente hasta el 2018, el 2019 la dispersión subió ligeramente (Fig. 13).

6. REFERENCIAS

Bez, N. (2007). Transitive geostatistics and statistics per individual: a relevant framework for assessing resources with diffuse limits. Journal de la société française de statistique, 148(1), 53-75.

Castillo, R., Peraltilla, S., Aliaga, A., Flores, M., Ballón, M., Calderón, J., Gutiérrez, M. (2009) Protocolo técnico para la evaluación acústica de las áreas de distribución y abundancia de recursos pelágicos en el mar peruano. Inf Inst Mar Perú, 36(1-2).

Dejoux, C., Iltis, A. (Eds.). (1991). El lago Titicaca: Síntesis del conocimiento limnológico actual. IRD Editions.

Del Grosso, V. A., Mader C. W. (1972). Speed of sound in pure water. J. Acoust. Soc. Am., 52: 1442-1446.

Francois, R. E., Garrison, G. R. (1982). Sound absorption based on ocean measurements: Part I: Pure water and magnesium sulfate contributions. Journal of the Acoustical Society of America, **72**(3), 896-907.

Foote, K. G. (1983). Maintaining precision calibrations with optimal copper spheres. Journal of the Acoustical Society of America, March 1983.

Kongsberg Maritime AS. (2012). Reference manual Simrad EK60 Scientific echo sounder. Release 2.4x. 164692 / Revision D / ISBN-13: 978-8066-011-4.

Mackenzie. (1981). Discussion of sea-water sound-speed determinations. Journal of the Acoustical Society of America, 70(3), 801–806.

Richerson, P. J., Widmer, C., Kittel, T. (1977). Limnology of Lake Titicaca (Peru-Bolivia), a large, high altitude tropical lake. In Institute of Ecology Publication. Vol. 14.

Simmonds, J., MacLennan, D. (2005). Fisheries Acoustics. Theory and practices 2nd Ed. Chapman & Hall: 325 p.

Simmonds, E. J., Williamson, N. J., Gerlotto, F., Aglen, A. (1992). Acoustic survey design and analysis procedure: a comprehensive review of current practice. ICES Coop. Res. Rep., 187, 112.