

Análisis morfométrico y batimétrico del lago Pomacochas (Perú)

Morphometric and bathymetric analysis of lake Pomacochas (Peru)

Elgar Barboza Castillo^{1*}, Jorge L. Maicelo Quintana², Carmen Vigo Mestanza³, Jorge Castro Silupú⁴ y Segundo Manuel Oliva Cruz⁵

RESUMEN

En este artículo, se presenta la morfometría del lago Pomacochas, localizado en el distrito de Florida, provincia de Bongará de la región Amazonas. Para llevar a cabo el estudio se utilizó una lancha de motor fuera de borda y se establecieron 25 líneas de oeste a este, separadas a una distancia de aproximadamente 100 m. Estas mediciones fueron realizadas en el mes de julio del 2015. En total, se tomaron datos en 427 puntos a lo largo de todo el espejo de agua. Para la caracterización del lago se realizó la batimetría y se calcularon los parámetros morfométricos primarios (volumen, área del lago, perímetro, longitud máxima, amplitud máxima y profundidad máxima) y secundarios (profundidad media, profundidad relativa, desarrollo del volumen, desarrollo del perímetro, amplitud media, pendiente media y la relación de profundidad). Posteriormente, para la confección del mapa batimétrico, se utilizó el Programa Surfer v.10.1 (Surface Mapping System) y los datos fueron procesados para elaborar modelos tridimensionales, y modelos de curvas a nivel del lecho del lago Pomacochas. Asimismo, se estimó el volumen de agua en 137 282 483,64 m³ y el área del espejo de agua en 4 245 834,95 m², los cuales tienden a cambiar según la época del año y el uso del agua.

Palabras clave: morfometría, batimetría, lago Pomacochas, metodología kriging

ABSTRACT

It presents the morphometry of the lake Pomacochas, located in the district of Florida, province of Bongará in the Amazon region. To carry out the study an outboard motorboat was used, establishing 25 lines from west to east, separated by a distance of approximately 100 m; these measurements were made in July 2015. In total it was taken data at 427 points along the entire water mirror. To characterize the lake, the bathymetry was calculated with the primary morphometric parameters (volume, lake area, perimeter, maximum length, maximum amplitude, maximum depth) and secondary parameters (mean depth, relative depth, median depth, volume development, coastline development, mean amplitude, mean slope and depth ratio). Subsequently, to make the bathymetric map, it was used the Surfer v.10.1 (Surface Mapping System), and the data were processed to elaborate three-dimensional models, and curvature models at the Pomacochas lake base level. Likewise, the volume of water was estimated at 137 282 483,64 m³ and the area of the water mirror at 4 245 834,95 m², which tend to change according to the time of year and the use of water.

Keywords: morphometry, bathymetry, lake Pomacochas, kriging methodology

¹Ingeniero Ambiental. Investigador del INDES-CES.

²Ingeniero Zootecnista. Investigador del INDES-CES, UNTRM. E-mail: jmaicelo@indes-ces.edu.pe

³Bachiller en Ingeniería Ambiental. Investigadora del INDES-CES, UNTRM. E-mail: carmen.vigo@untrm.edu.pe

⁴Biólogo. Investigador del INDES-CES y docente UNTRM. E-mail: jorge.castro@untrm.edu.pe

⁵Ingeniero Agrónomo. Investigador del INDES-CES y docente UNTRM. E-mail: soliva@indes-ces.edu.pe

*Autor de correspondencia. E-mail: ebarboza@indes-ces.edu.pe

I. INTRODUCCIÓN

En todo el mundo, los lagos son la muestra geológica más representativa de las regiones húmedas (Cardille *et al.*, 2004). La morfología permite comparar sistemas y expresar ciertos valores (concentración, temperatura) en términos extensivos (carga, contenido calórico). Además, determina la relación sedimento-agua, el efecto del viento, la estructura térmica, la productividad total, y la importancia de la productividad litoral en total (Arocena y Conde, 1999).

La caracterización morfométrica de un cuerpo de agua, es el punto de partida de estudios relacionados con la limnología, y a partir de ésta, se puede determinar la ubicación de las estaciones de recolección de datos de manera metódica. Adicionalmente, se genera una idea global sobre el funcionamiento del sistema, teniendo en cuenta las áreas de interface agua-aire y agua-sedimento (Montoya-Moreno, 2008).

La información morfométrica de los lagos refleja los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren dentro de un lago (Wetzel, 1983). Con dicha información, se pueden establecer de manera cuantitativa algunos índices del cuerpo de agua (Almanza-Marroquín *et al.*, 2016), lo que permite la determinación procesos físicos como la erosión, cargas de nutrientes, balances de masa, contenido calórico, estabilidad térmica y sedimentación; procesos químicos derivados de la disponibilidad de sustancias oxidantes o reductoras y procesos biológicos como la fotosíntesis oxigénica a muy bajas intensidades luminosas, la fotosíntesis anoxigénica y la fijación autotrófica de carbono inorgánico por parte de bacterias que tienen lugar en estos ambientes (García-Gil y Camacho, 2001).

La batimetría consiste en la medición de las profundidades de un cuerpo de agua y tiene una gran importancia para la seguridad de la navegación y los estudios científicos diversos fines (Romero y Pineda, 2007).

Por su parte los parámetros morfométricos se obtienen a partir de un mapa batimétrico, llamado así por incluir isolíneas de profundidad (líneas que unen una misma profundidad). Los mapas disponibles permiten una

mayor comprensión de la estructura, forma y funcionamiento de los medios acuáticos, y son una herramienta importante para los estudios sobre el volumen de sedimento acumulado y su evolución en el tiempo; además del cálculo del volumen de almacenamiento o curvas de capacidad en embalses, la calidad del agua, y las poblaciones de peces, entre otros (Arocena y Conde, 1999; Resck *et al.*, 2007).

El presente estudio tuvo como objetivo la estimación de los parámetros morfométricos del lago Pomacochas, obtenidos por medio de un levantamiento batimétrico detallado. Además, de la confección de una carta batimétrica del sistema acuático en cuestión.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El Lago Pomacochas se ubica en el distrito de Florida, perteneciente a la provincia de Bongará del departamento Amazonas, entre los 5° 48' 35" y 5° 50' 5" latitud sur y 77° 57' 39" y 77° 56' 17" longitud oeste (Figura 1). El clima en el área de estudio es cálido y templado, regulado por la influencia lacustre; tiene una temperatura promedio anual de 15 °C, y está situado a una altura de 2220 m s. n. m., con una precipitación pluvial de 1104,2 mm anuales (Estación Meteorológica Pomacochas - INDES-CES, UNTRM). El lago es un espejo de agua verde azulado cuyo ecosistema está rodeado de totorales (*Schoenoplectus californicus*), con la presencia *Myriophyllum aquaticum* como representante de la flora acuática en algunas áreas ribereñas. Sumado a la naturaleza térmica del agua, sirve de hábitats de garzas, zambullidores, patos, nutrias; además de una diversidad de picaflores y peces como truchas, pejerreyes y plateados. Su principal uso es recreacional, con actividades como el canotaje, la pesca y el avistamiento de aves. También sirve como abastecimiento de agua en las actividades agropecuarias realizadas en la zona.

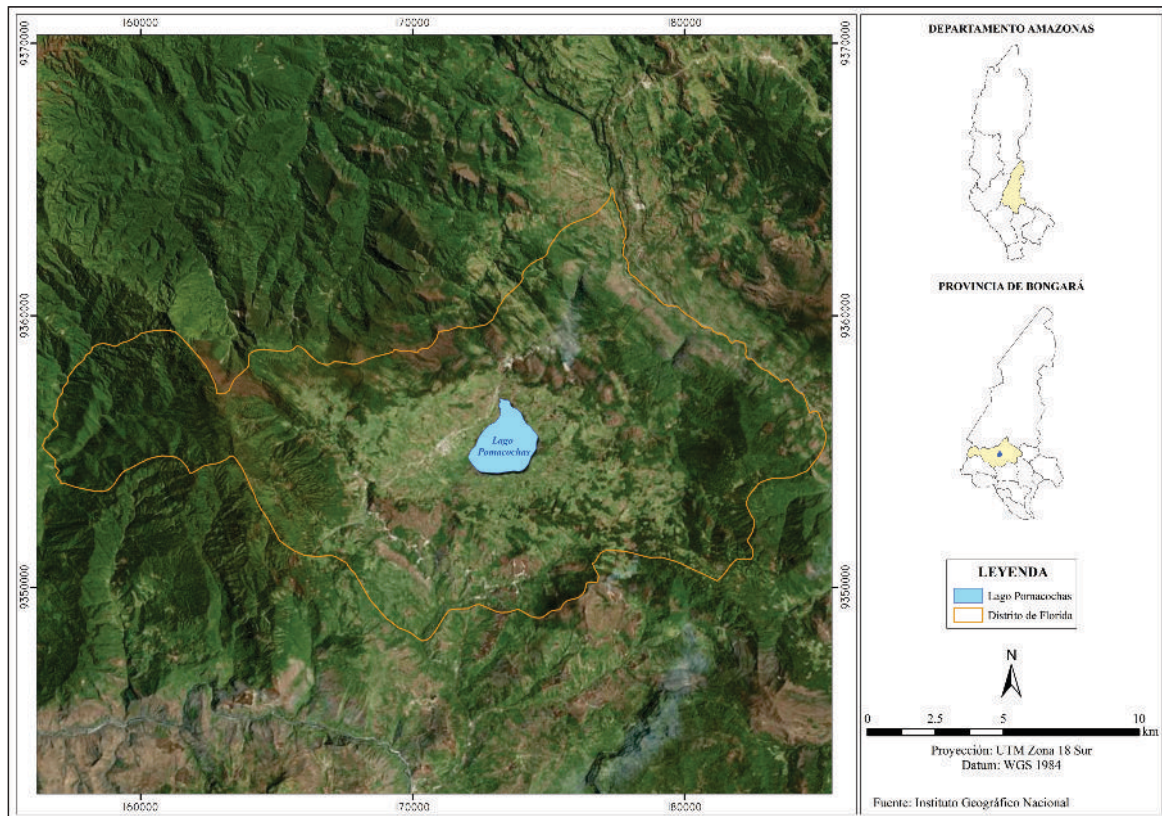


Figura 1. Ubicación del lago Pomacochas en el distrito de Florida, provincia de Bongará, departamento de Amazonas

Colección de datos

Los datos fueron colectados durante el mes de julio del 2015. Para medir la profundidad del lago Pomacochas, se realizó una campaña hidrográfica a bordo de una lancha con motor fuera de borda de siete metros de eslora. Se empleó una ecosonda portátil (Garmin Echo 301dv), con un intervalo de medición de dos segundos (Rico *et al.*, 1995). Se realizaron transectas transversales y longitudinales de 100 metros de distancia una de otra y se establecieron un total de 25 líneas distribuidas de este a oeste. El transductor de la ecosonda y el prisma fueron fijados en la parte posterior lateral de la embarcación, lo que permitió obtener las coordenadas exactas para cada punto por medio de la Estación Total Trimble M3.

Para la navegación y ubicación de cada punto se utilizó un GPS convencional (Garmin 650) y se estableció un total de 427 puntos sobre el espejo de agua. Estas mediciones fueron realizadas durante 15 días y en horas punta del día, dado que el oleaje del lago aumentaba notablemente en la tarde, lo cual tendía a dificultar las actividades, lo que comprometía la precisión de las mediciones.

Confección de la carta batimétrica y cálculo de los parámetros morfométricos

Los datos de profundidad obtenidos a partir del levantamiento batimétrico, se sometieron a un tratamiento geoestadístico con el uso de software ArcGIS 10.1 mediante el método de interpolación de kriging (Lloyd, 2005), el cual permitió generar las curvas a nivel y tener una mejor representación la forma del relieve topográfico del lago Pomacochas.

Los parámetros morfométricos primarios de volumen (V) (m^3), área del lago (A) (m^2), perímetro (P) (m), longitud máxima (L) (m), amplitud máxima (W) (m), y profundidad máxima (Z_{max}) (m) se estimaron a partir de los datos obtenidos en campo y según Resck *et al.* (2007); Bezerra-Neto y Pinto-Coelho (2008).

Posteriormente, se calcularon los parámetros morfométricos secundarios de profundidad media (Z_m) (m), profundidad relativa (Z_r) (%), índice de desarrollo del volumen (D_v), índice de desarrollo del perímetro (D_p), amplitud media (V_{med}) (m), pendiente media (α) (%), relación de profundidad (Z_m/Z_{max}), y la relación entre longitud máxima y amplitud máxima (L/W) de acuerdo a Von-Sperling (1999).

El perfil transversal y el longitudinal se generaron a partir de TIN (Triangular Irregular Network), el cual fue obtenido de los datos de profundidad georreferenciados. Además, para elaborar el modelo 3D se ingresó los valores de profundidad al programa Surfer v. 10.1 (Surface Mapping System) que permitió visualizar la forma y profundidad máxima del lecho del lago.

III. RESULTADOS

En total, se tomaron datos en 427 puntos a lo largo de todo el espejo de agua. Este lago es un cuerpo de agua profuso, con valores de profundidad de 75,5 m (Figura 2). En la tabla 1, se muestran los resultados de los parámetros morfométricos, entre ellos, el volumen fue 137

282 483,64 m³ y un área máxima de 4 245 834,95 m², teniendo en cuenta que en esta superficie no se consideró la parte ocupada por la vegetación adyacente. El perímetro fue de 8514,26 m, la longitud máxima de 2786,80 m, y la amplitud máxima de 2687,40 m. Después de estos análisis, resultó evidente la existencia de una zona somera en el área norte del lago, y un sistema de fosas localizado en el área sur-oeste.

Las relaciones morfométricas registradas de este estudio indicaron que el lago presentó un desarrollo del volumen (D_v) de 1,28 y un desarrollo del perímetro de 1,16. La profundidad relativa fue del 3,25 %, con una amplitud media de 1523,50 m, y una pendiente media del 6,49 %.

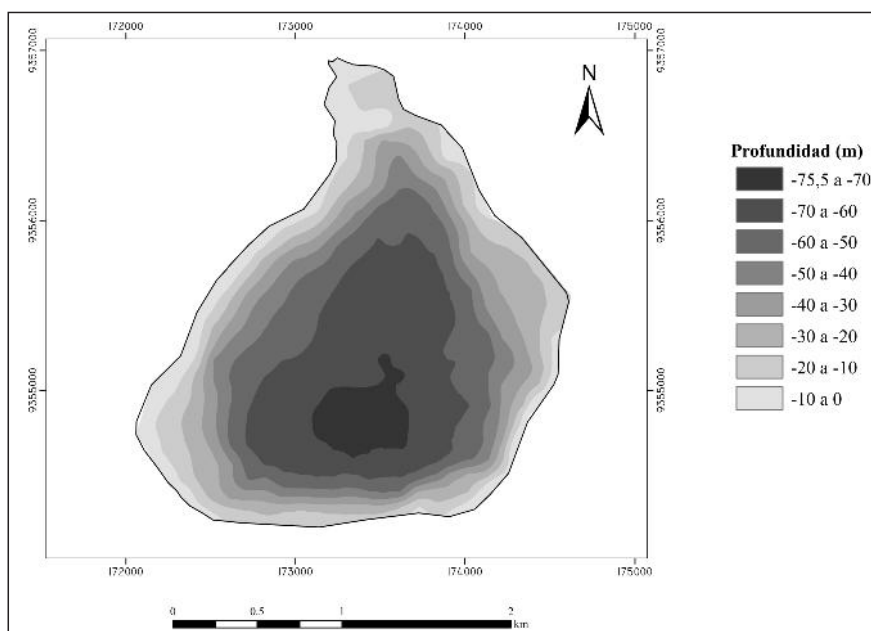


Figura 2. Mapa batimetría del Lago Pomacochas

Tabla 1. Parámetros morfométricos del lago Pomacochas

Parámetros Primarios	Unidades	Medidas
Volumen (V)	m ³	137 282 483,64
Área total de superficie (A)	m ²	4 245 834,95
Perímetro (P)	m	8 514,26
Longitud máxima (L)	m	2 786,80
Amplitud máxima (W)	m	2 687,40
Profundidad máxima (Z _{max})	m	75,50
Parámetros Secundarios	Unidades	Medidas
Profundidad media (Z)	m	32,3
Profundidad relativa (Z _r)	%	3,25
Índice de desarrollo del volumen (D _v)	--	1,28
Índice de desarrollo del perímetro (D _p)	--	1,16
Amplitud Media (W _{med})	m	1523,50
Pendiente Media (α)	%	6,49
Z/Z _{max}	--	0,43
L/W	--	1,04

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3, se muestran los perfiles transversales y longitudinales. De ello, resulta que el lago está forma-

do por dos cubetas, la primera en el área de norte a sur y la segunda en el área oeste a este.

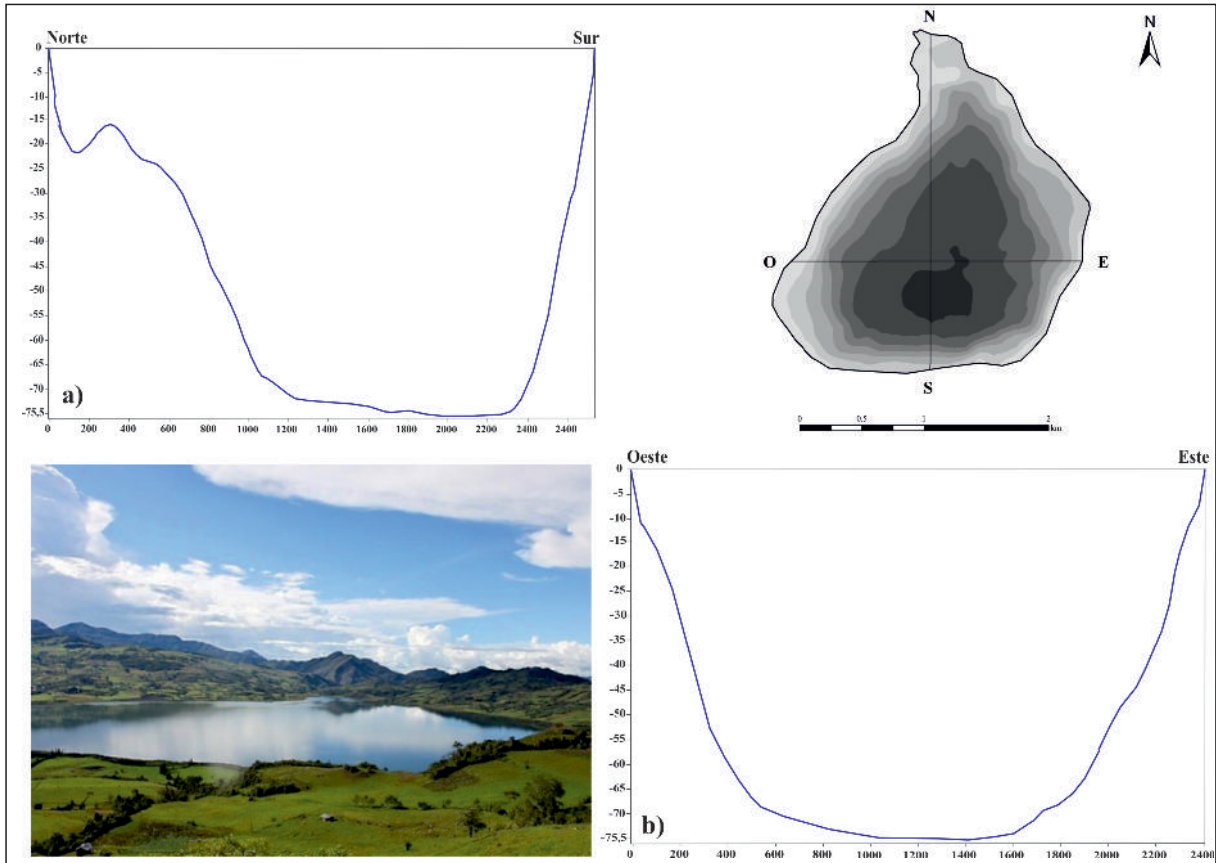


Figura 3. Perfiles del lago Pomacochas: a) Perfil transversal de norte a sur y b) Perfil longitudinal de oeste a este

La batimetría del lago Pomacochas permitió hacer una representación tridimensional (3D) de la topografía subacuática del cuerpo de agua (Figura 4). Con esta

información se pudo visualizar la forma y la profundidad máxima del lago.

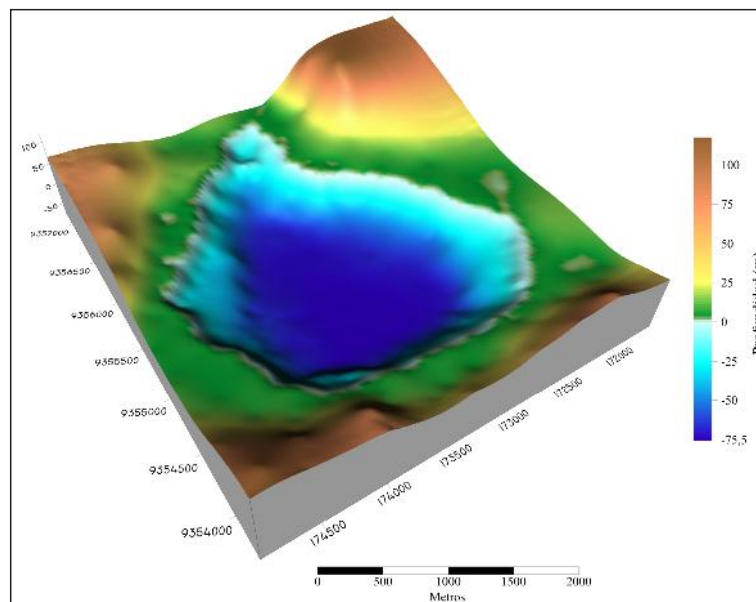


Figura 4. Representación tridimensional (3D) del lago Pomacochas

IV. DISCUSIÓN

El método geoestadístico de interpolación de kriging, permitió modelar los datos geoespaciales de profundidad y generar las curvas de nivel, con un alto grado de precisión que resultaron similares a los obtenidos por Fornerón *et al.* (2010).

El área del lago Pomacochas fue 424,58 ha (4,25 km²) considerado como un cuerpo de agua grande, según Quirós *et al.* (2006). El perímetro fue 8,51 km. Estos parámetros varían en función a las condiciones del tiempo (precipitación y evaporación) y a los efectos del cambio climático (precipitaciones o sequías constantes). La longitud de la laguna fue de 2,78 km, y la amplitud de 2,68 km, y coincide en rasgos generales con otros estudios morfométricos de lagunas de Argentina (Fornerón *et al.*, 2010), Chile (Reyes y Peralta, 2014) y Colombia (Montoya-Moreno, 2005). Un parámetro importante que determina el grado de sedimentación de un lago es el volumen. Los grandes volúmenes son una consecuencia natural de la evolución de la cubeta de un lago, pues a medida que este envejece, el índice se incrementa paulatinamente por la constante acumulación de sedimentos. En el caso del lago Pomacochas, el volumen fue de 137 282 483,64 m³ y lo caracteriza como un ambiente acuático evolucionado. Este aumento en la acumulación de sedimentos puede haber sido producto de la deforestación en cabeceras de las microcuencas que alimentan al lago, así como deterioro de los totorales aledaños al mismo (Coll *et al.*, 2002).

En cuanto a los 75,5 m de profundidad máxima del lago Pomacochas, esta se alcanza en el área sur-oeste. Dicha profundidad se encuentra determinada por el origen del lago, la tasa de sedimentación y el balance hídrico, por lo que se considera como un cuerpo de agua antiguo, debido a la profundidad que posee (Barbanti, 1985). Asimismo, la columna de agua tiene una profundidad media de 32,3 m. Este es un dato importante, ya que los estudios muestran una correlación inversa con respecto a la productividad en todos los niveles tróficos de los lagos grandes, perdiéndose esta relación valor en los pequeños (Ramírez, 2005; Montoya-Moreno *et al.*, 2011).

El grado de irregularidad de la costa, esencialmente, relaciona la longitud de la costa, o perímetro, con la

circunferencia de un círculo que tenga la misma superficie que el lago. Es decir, este valor es un índice del grado de regularidad de la costa o desarrollo de línea de costa (D_L). En el lago Pomacochas, se puede apreciar un valor D_L de 1,16, que implica un bajo desarrollo de la línea de costa, debido a la baja sinuosidad de la zona litoral, lo que indica una forma subcircular del cuerpo de agua, y se corrobora con los valores del índice ($L/W = 1,04$). Estos resultados relacionados con la forma fueron opuestos a los encontrados por Bohn *et al.* (2013) en la provincia de Buenos Aires (Argentina), donde la laguna evaluada mostró una forma subrectangular elongada.

La relación entre el área del lago, por donde entra la energía desde el exterior, y la profundidad, a través de la cual se disipa la energía, tiene una importancia fundamental en la dinámica biológica de las aguas continentales. Esta relación se puede expresar numéricamente con la profundidad relativa (Z_r), que es la profundidad máxima expresada como un porcentaje del diámetro de un círculo, cuya área coincide con la del lago (Hutchinson, 1957). En el lago Pomacochas, el valor de Z_r fue de 3,25 %, lo que indica una clara tendencia a la estratificación y fuerte estabilidad, es decir alta resistencia a la acción del viento. Por otra parte, para la mayor parte de los lagos la razón $Z/Z_{máx}$ da un valor comparativo de la forma de la cubeta en términos de desarrollo volumétrico, y por lo regular este cociente es mayor que 0,33, valor que se obtiene en una depresión cónica (Hernani y Ramírez, 2003). El valor del lago Pomacochas para dicha razón fue de 0,43, es decir, sinusoide elíptica, de igual manera que ocurre en el estudio de Montoya-Moreno (2005) en lagos del departamento de Antioquia (Colombia).

Finalmente, el índice de desarrollo del volumen (D_v) se usa para ilustrar la forma real de un sistema acuático. El valor del D_v es mayor a la unidad, por lo que se puede considerar este lago con forma de U. Esta forma es la más común entre los sistemas acuáticos lénticos del planeta, y al ser el lago Pomacochas un ecosistema acuático antiguo, consecuencia natural de la evolución de la cubeta del cuerpo de agua, a medida que el D_v envejece, el índice se incrementa por la constante acumulación de sedimentos (Montoya-Moreno, 2005).

V. CONCLUSIONES

El estudio morfométrico y batimétrico del lago Pomacochas permitió conocer la profundidad máxima de 75,5 m, en el sector sur del lago; mientras que el valor del volumen fue 137 282 483,64 m³. El área del lago Pomacochas es de 4 245 834,95 m² (424,58 ha), con un perímetro de 8514,26 m, respectivamente. Estos parámetros pueden variar en función de las precipitaciones y la evaporación, debido a los efectos del cambio climático en el área de estudio.

El lago se caracteriza por presentar un ambiente acuático evolucionado, considerado como un cuerpo antiguo, debido a su profundidad. Presenta una forma del espejo de agua subcircular, tiene una clara tendencia a la estratificación en base a su porcentaje de profundidad relativa y muestra una clara forma de U.

Las tecnologías de información geográfica, así como los programas de mapeo de superficies, son, en la actualidad, herramientas muy útiles para estudios morfométricos y batimétricos que brindan los fundamentos técnicos y científicos necesarios para la toma acertada de decisiones, con respecto al manejo y gestión de los recursos hídricos.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almanza-Marroquín, V., R. Figueroa, O. Parra, X. Fernández, C. Baeza, J. Yañez y R. Urrutia. "Bases limnológicas para la gestión de los lagos urbanos de Concepción, Chile". *Latin American Journal of Aquatic Research*, Vol. 44 (2016): 316-326.
- Arocena, R. y D. Conde. *Métodos en ecología de aguas continentales, con ejemplos de Limnología en Uruguay*. D.I.R.A.C - Facultad de Ciencias, Montevideo (Uruguay), 1999.
- Barbanti, L. "Some problems and new prospects on physical limnology". *Lymnology: a review. Memorie dell'istituto italiano di idrobiol*, Vol. 43 (1985): 1-32.
- Bezerra-Neto, J. F. y R. M. Pinto-Coelho. "Morphometric study of Lake Dom Helvécio, Parque Estadual do Rio Doce (PERD), Minas Gerais, Brazil: a reevaluation". *Acta Limnologica Brasiliensia*, Vol. 20 (2008): 161-167.
- Bohn V. Y., M. C. Piccolo y G. M. E. Perillo. "Características bioópticas y morfometría de una laguna de zona templada". *Estudios Geográficos*, Vol. 74 (2013): 311-328.
- Cardille, J., M. T. Coe y J. A. Vano. "Impacts of climate variation and catchment area on water balance and lake hydrologic type in groundwater-dominated systems: a generic lake model". *Earth Interactions*, Vol. 8 (2004): 1-24.
- Coll, M., A. Fonseca y J. Cortés. "El manglar y otras asociaciones vegetales de la laguna de Gandoca, Limón, Costa Rica". *Revista de biología tropical*, Vol. 49 (2002): 321-330.
- Forneron, C. F., M. C. Piccolo M. E. Carbone. "Análisis morfométrico de la laguna Sauce Grande (Argentina)". *Huellas*, Vol. 14 (2010): 11-30.
- García-Gil, L. J. y A. Camacho. "Anaerolimnología: pequeña guía para el muestreo en aguas microaeróbicas y anóxicas en lagos y embalses estratificados". *Limnetica*, Vol. 1 (2001): 179-186.
- Hernani, A. y J. J. Ramírez. "Aspectos morfométricos y teóricos de un embalse tropical de alta montaña: represa La Fe, El Retiro, Colombia". *Revista Académica Colombiana de Ciencias*, Vol. 27 (2003): 511-518.
- Hutchinson, G. E. *A treatise on limnology* (Vol. 1). New York (United States), 1957.
- Lloyd, C. D. "Assessing the effect of integrating elevation data into the estimation of monthly precipitation in Great Britain". *Journal of Hydrology*, Vol. 308 (2005): 128-150.
- Montoya-Moreno, Y. "Caracterización morfométrica básica de tres lagos someros en el municipio de el Carmen de Viboral (Antioquia), Colombia". *Actualidades Biológicas*, Vol. 27 (2005): 79-86.
- Montoya-Moreno, Y. "Caracterización morfométrica de un sistema fluviolacustre tropical, Antioquia, Colombia". *Caldasia*, Vol. 30 (2008): 413-420.
- Montoya-Moreno, Y., C. Benjumea, A. Wills y N. Aguirre. "Estudio de las características morfométricas básicas de un complejo cenagoso tropical (Ayapel, Colombia)". Sometido a *Acta Biológica Colombiana*, 2011.
- Quirós, R., M. Boveri, A. Rennella, C. Petracchi, J. Rosso, A. Sosnovsky y H. T. Von Bernard. "Los

- efectos de la agriculturización del humedal pampeano sobre la eutrofización de sus lagunas”. *EUTROSUL*, Vol. 1 (2006): 1-14.
- Ramírez, J. J. “Respuesta de la comunidad fitopláctónica de una laguna ecuatorial hipereutrófica a la introducción de un nuevo ecodomo”. *Limnética*, Vol. 24 (2005): 295-304.
- Resck, R. P., J. F. Bezerra-Neto y R. M. Pinto-Coelho. “Nova Batimetria e uma Avaliação Ecológica de Parâmetros Morfométricos da Lagoa da Pampulha (Belo Horizonte, Brasil)”. *Revista Geografias*, Vol. 5 (2007): 24-37.
- Reyes, M. R. y S. Peralta. “Análisis tecno-morfológico y de materias primas de los artefactos líticos del sitio Laguna de la Flecha 10 (Lago Musters, Chubut)”. *Magallania*, Vol. 42 (2014): 199-210.
- Rico, E., A. Chicote, M. E. González, y C. Montes. “Batimetría y análisis morfométrico del lago de Arreo (N. España)”. *Limnética*, Vol. 11 (1995): 55-58.
- Romero, F. y N. M. Pineda. “Batimetría del Lago de Yojoa”. *Revista Técnico-Científica Tatascan*. Volumen, Vol. 19 (2007).
- Von-Sperling, E. *Morfometria de Lagos e Represas*. Belo Horizonte: DESA/UFMG, SEGRAC, 1999.
- Wetzel, R. G. *Limnology* (2 ed.). Philadelphia (United States), 1983.