

Análisis morfométrico y batimétrico de la laguna de Huamanpata, región Amazonas

Morphometric and bathymetric analysis of the Huamanpata lagoon, Amazonas region

Rolando Salas López^{1*}, Segundo José Mamani Cruz², ^aElgar Barboza Castillo³ y ^bCristóbal Torres Guzmán³

RESUMEN

La presente investigación se realizó en la laguna Huamanpata, que se encuentra en la zona alta de la cuenca del río Huyabamba a 2100 m s. n. m. Para la medición batimétrica, se utilizó un bote; se establecieron de 52 transectas imaginarias sobre el espejo de agua, distribuidas de oeste a este y de norte a sur, a una distancia aproximada de 100 m. Las mediciones se realizaron en las intersecciones de las transectas, y se obtuvieron datos en 490 puntos sobre el espejo de agua y 592 a lo largo de la orilla. Estas medidas fueron tomadas en la segunda quincena de mayo. Posteriormente, se utilizaron los softwares ArcGis 10.3 y Surfer 10 para el procesamiento de los datos. Asimismo, se estimó el volumen de agua en 17 087 988,16 m³ y el área del espejo de agua en 3,79 km², los que tienden a cambiar según la estacionalidad del año.

Palabras clave: caracterización, hidrología, laguna, área tropical, Amazonas

ABSTRACT

The present investigation was carried out in the Huamanpata lagoon, located in the upper Huyabamba River basin at 2100 metres above mean sea level. For the bathymetric measurement, a boat was used; Were established from 52 imaginary transects on the water mirror, distributed from west to east and from north to south, at a distance of about 100 m. Measurements were made at intersections of the transects, and data were obtained at 490 points on the water mirror and 592 along the shore. These measures were taken in the second half of May. Subsequently, the software ArcGis 10.3 and Surfer 10 were used to process the data. Likewise, the water volume was estimated at 17 087 988,16 m³ and the water mirror area at 3,79 km², which tend to change according to the seasonality of the year.

Keywords: characterization, hydrology, lagoon, tropical area, Amazonas

¹Ingeniero en Recursos Naturales Renovables, mención Conservación de Suelos y Aguas. Investigador del INDES-CES y Docente UNTRM.

²Bachiller en Ingeniería Ambiental. Investigador del INDES-CES, UNTRM. E-mail: segundo.mamani@untrm.edu.pe

³Ingeniero Ambiental. Investigador del INDES-CES.

^ae-mail: ebarboza@indes-ces.edu.pe ^be-mail: cristobal.torres@untrm.edu.pe

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

I. INTRODUCCIÓN

En limnología, la morfología es el estudio de las formas, dimensiones, origen y evolución de sistemas fluviales tales como lagos y lagunas, así como su papel en la estructura y funcionamiento de los mismos, mientras que la morfometría estudia la cuantificación de los elementos que constituyen tales formas (Hakanson, 1981). En el caso de los sistemas lénticos la morfometría está relacionada principalmente con su origen e historia y con las características geológicas de su cubeta y de su cuenca (Vega *et al.*, 2005).

Para desarrollar investigaciones limnológicas es básico tener como punto de partida la caracterización morfométrica y batimétrica del sistema en cuestión (Gunkel y Casallas, 2002), ya que con la ayuda de esta se puede determinar la ubicación de las estaciones de recolección de manera metódica, y adicionalmente, se puede generar una idea global sobre el funcionamiento del propio sistema (Montoya-Moreno, 2008). Además, al conocer la morfometría de un sistema léntico se pueden determinar en gran medida los procesos biofísicos que tienen lugar en él (Degano *et al.*, 2016).

Los parámetros morfométricos se obtienen de un mapa batimétrico, así llamado porque incluye isobatas o isolíneas de profundidad (líneas que unen una misma profundidad). Estos mapas permiten una mayor comprensión de la estructura y el funcionamiento de los medios acuáticos (Popielarczyk *et al.*, 2015).

En Europa, los análisis morfométricos y batimétricos se realizan desde hace más de un siglo (Margalef, 1983), por lo que actualmente se están realizando nuevos estudios para ver la evolución de los sistemas lénticos. Un ejemplo es el que se da en España, en el lago de Sanabria, donde Vega *et al.* (2005) obtuvieron un nuevo mapa batimétrico y nuevos parámetros morfométricos para los estudios limnológicos que se dan en este lago. En América del Sur, países como Argentina han aumentado sus estudios limnológicos (Fornerón *et al.*, 2010) para tener un mejor conocimiento de sus sistemas lénticos. En Perú, el lago Titicaca, al ser uno de los recursos

hídricos más importantes no solo por superficie, sino por sus usos socioeconómicos y ambientales, ha sido objeto de actualizaciones en diversos estudios limnológicos con el objetivo de conocer su dinámica temporal (Del Carpio *et al.*, 2016).

En el departamento de Amazonas, existen un gran número de lagos y lagunas de montaña, sin embargo, el número de estudios al respecto es prácticamente nulo. Por esta razón, en este trabajo se pretende generar y estimar los parámetros morfométricos de la laguna de Huamanpata y difundir su uso como herramienta para el manejo de cuencas y gestión ambiental.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

Área de Estudio

La laguna de Huamanpata se encuentra en el extremo sur del departamento de Amazonas, en la provincia de Rodríguez de Mendoza (Figura 1); más específicamente se encuentra en el límite entre los distritos de San Nicolás y Mariscal Benavides, entre las coordenadas geográficas 6° 19' 11" latitud sur y 77° 29' 29" longitud oeste, y 6° 20' 55" latitud sur y 77° 24' 43" longitud oeste. Se sitúa a una altitud de 2100 a 2200 m s. n. m., y posee un clima templado, lluvioso y húmedo, con intensas precipitaciones en la estación lluviosa (diciembre-mayo), y un régimen menos acusado de precipitaciones en los meses de verano (junio-noviembre). Las precipitaciones promedio anual superan los 1500 mm y la temperatura promedio anual de 15°C. La laguna Huamanpata pertenece a la cuenca del río Huayabamba; su área de influencia pertenece a la zona de vida denominada Bosque Húmedo Premontano Tropical caracterizado por presentar un relieve de montañas altas de laderas muy empinadas y moderadamente empinadas, afectadas por procesos de vertientes como deslizamientos rápidos, reptación de suelos o remoción de masas. Su litología está compuesta por calizas, areniscas, cuarzosas, areniscas rojizas, lodolitas, limoarcillitas y limolitas (IIAP/GRA, 2010).

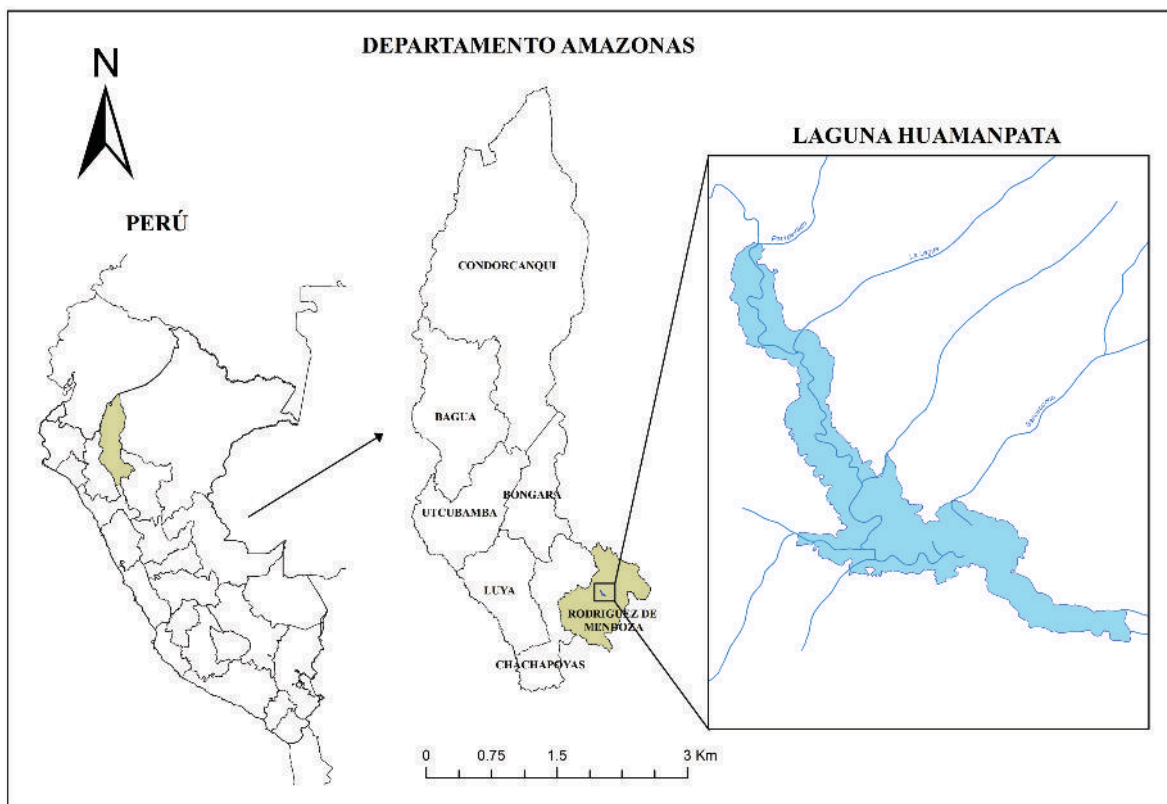


Figura 1. Mapa de ubicación de la laguna de Huamanpata, provincia Rodríguez de Mendoza

Levantamiento Batimétrico

El levantamiento batimétrico se realizó durante una campaña hidrográfica, a bordo de un bote, a inicios de la segunda quincena de mayo del 2016. Para la identificación de los puntos de medición de profundidad, se elaboró un mapa base, mediante la utilización de cartografía a escala 1: 100 000 e imágenes de Google Earth. Sobre el mapa base de la laguna, se trazaron transectos transversales y longitudinales imaginarios de 100 m de distancia entre ellos. A partir de ellos, se establecieron 490 puntos de medición al interior del laguna y 592 puntos a lo largo del perímetro de la laguna.

Para medir la profundidad de la laguna, en la parte delantera del bote, se colocó una cinta de 50 metros, atada por un extremo con una plomada de 753,88 g, que permitió mantener la verticalidad de la misma (Romer y Mejía, 2007). La georreferenciación de los puntos de medición se ejecutó en modo cinemático, a través de un GPS geodésico en coordenadas UTM (Universal Transversal de Mercator). Los datos obtenidos fueron procesados mediante el software Trimble Acces.

Procesamiento de datos batimétricos y estimación de parámetros morfométricos

Los datos de profundidad registrados fueron sometidos a un procesamiento que permitió visualizar, en términos generales, las características de la laguna. Asimismo, a partir del levantamiento batimétrico, se determinaron los parámetros morfométricos primarios y secundarios.

Elaboración de mapa batimétrico

Con el fin de observar la forma y profundidad máxima del lecho (batimetría de la laguna), se generó un modelo tridimensional y un modelo de curvas a nivel, con el método de interpolación de Kriging, por ser el Estimador Lineal Insesgado Óptimo (ELIO), mediante los softwares ArcGIS v.10.3 y Surfer v.10. (Surface Mapping System) (Barroso *et al.*, 2014). Además, se trazaron ocho perfiles transversales y una sección longitudinal de la laguna, a partir de TIN (Triangular Irregular Network) para apreciar la forma y características del relieve topográfico.

Los datos fueron analizados en el laboratorio de Geomática del INDES - CES de la UNTRM.

RESULTADOS

Batimetría y morfometría

La batimetría de la laguna Huamanpata permitió el-

borar un modelo tridimensional subacuático del cuerpo de agua, donde observa un lecho irregular a lo largo de toda su extensión (Figura 2).

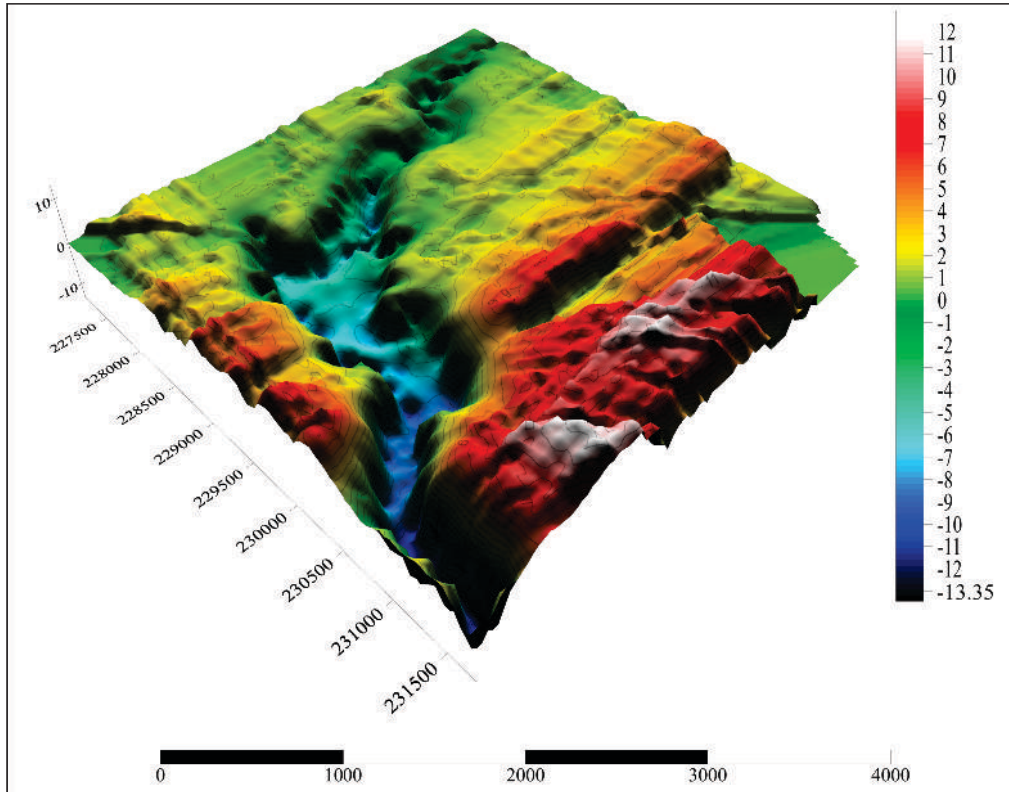


Figura 2. Representación tridimensional de la laguna Huamanpata

La laguna de Huamanpata está formada por una cubeta poco profunda, con un valor que alcanza una profundi-

dad máxima de 13,35 m., que se sitúa en la parte sureste cercana al sumidero principal de la laguna (Figura 3).

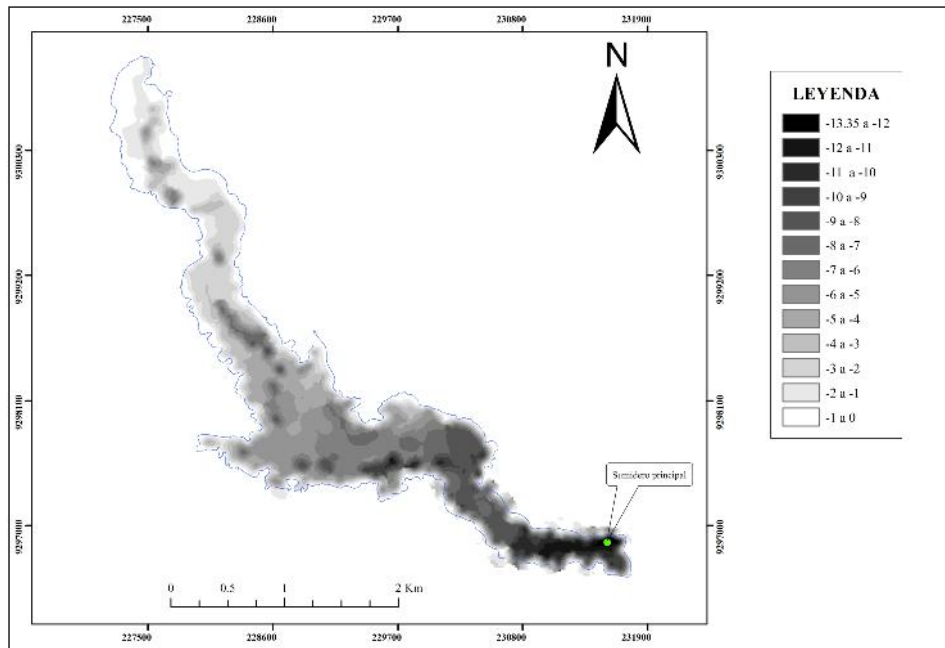


Figura 3. Batimetría de la laguna Huamanpata

En la tabla 1, se indican los valores calculados de los parámetros morfométricos primarios y secundarios, según el mapa batimétrico. El volumen (V) fue de 17 087 988,16 m³ con una superficie total (A) de 3.79 km².

El perímetro (P) fue de 21,75 km y una amplitud máxima (W_{med}) 2,62 km. La laguna presenta una profundidad media (Z) de 4,51 m.

Tabla 1. Parámetros morfométricos calculados de la laguna Huamanpata

Parámetros Primarios	Fórmula	Unidades	Medidas
Volumen (V)	$A \cdot Z_{\max}$	m ³	17 087 988,16
Área Total de Superficie (A)	--	Km ²	3,79
Perímetro (P)	--	Km	21,75
Longitud máxima (L)	--	Km	7,08
Amplitud máxima (W)	--	Km	2,62
Profundidad máxima (Z _{max})	--	m	13,35
Parámetros Secundarios		Unidades	Medidas
Profundidad media (Z)	V/A	m	4,51
Profundidad relativa (Z _r)	$\frac{50 Z_{\max} \sqrt{\pi}}{\sqrt{A}}$	%	0,61
Índice de desarrollo de costa (DI)	$P/2(\pi A)^{1/2}$	--	11,17
Desarrollo de volumen (Dv)	$3 \cdot Z/Z_{\max}$	--	1,01
Pendiente media	$100 \frac{Z_{\max}}{\sqrt{A/\pi^2}}$	%	0,02
Amplitud Media (W _{med})	A/L	m	535,35
Relación de Z/Z _{max}	Z/Z_{\max}	--	2,96
Relación de L/W	L/W	--	2,71

Fuente: Elaboración propia - Basada en Cole, 1994 (Primarios) y Von Sperling, 1999 (Secundarios)

Curva hipsométrica

La curva hipsométrica es la representación gráfica del relieve o superficie media de la laguna en km² que existe por encima de una cota determinada. La curva hipsométrica es construida llevando en el eje de las abscisas, longitudes proporcionales a las superficies proyectadas

en la laguna, en km² o en porcentaje, comprendidas entre curvas de nivel consecutivas hasta alcanzar la superficie total, llevando al eje de las ordenadas la cota de las curvas de nivel consideradas (Ordoñez, 2011).

La curva hipsométrica de la laguna de Huamanpata nos indica que se encuentra en un estado de juventud (Figura 4).

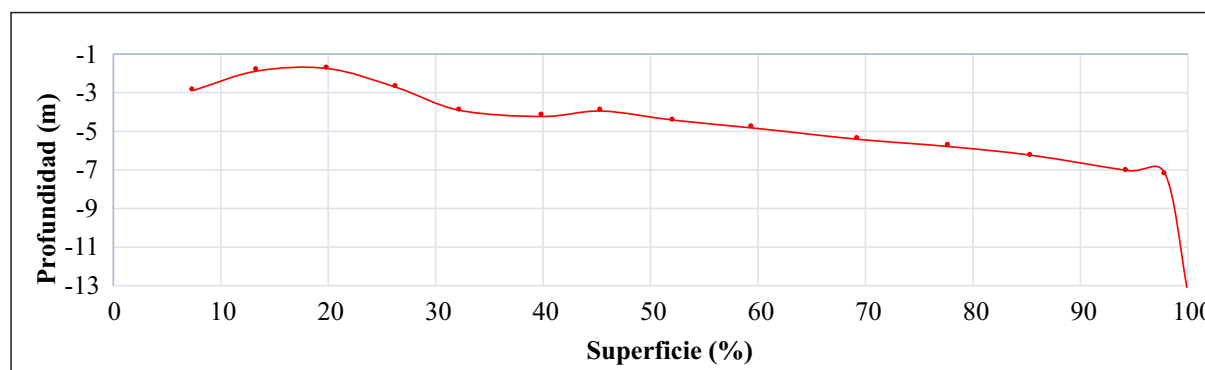


Figura 4. Curva hipsométrica de la laguna de Huamanpata

Por último, se trazaron ocho secciones transversales y longitudinales de la laguna (Figura 5 - Sección AA / Sección HH), a través de las cuales se puede observar a

detalle la forma de la cubeta de la laguna en su configuración espacial de nor-oeste a sur-este.

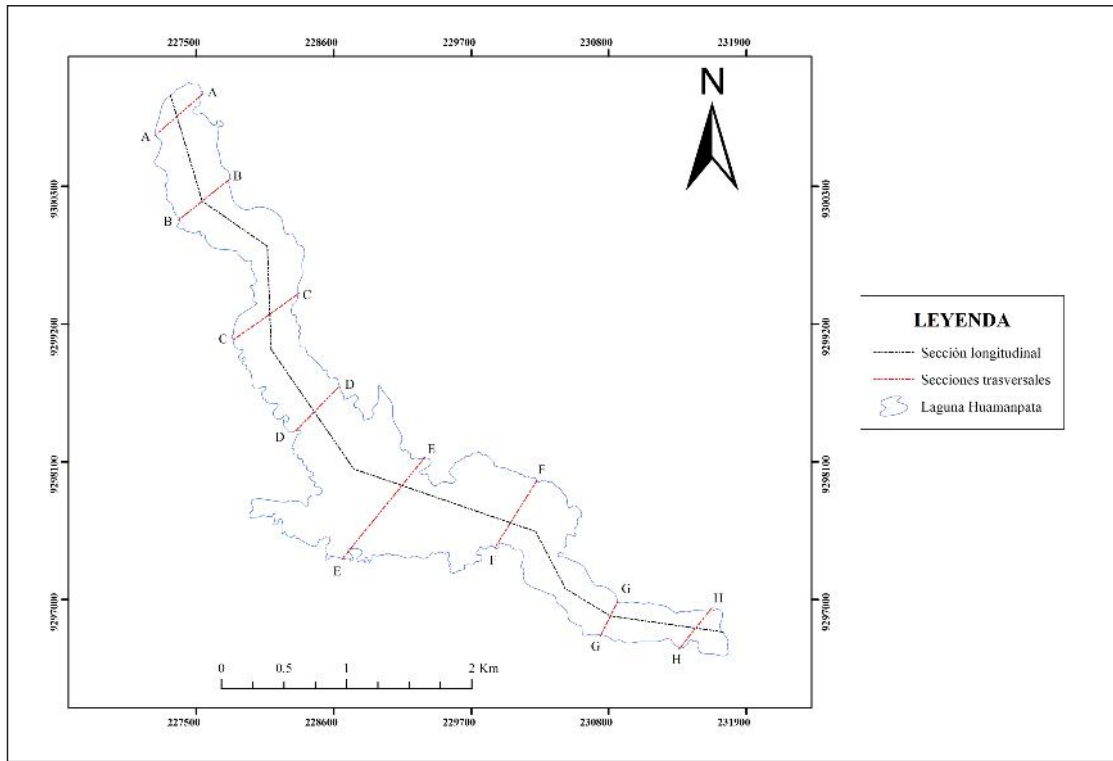


Figura 5. Vista en planta de las secciones transversales y longitudinal de la cubeta de la laguna Huamanpata

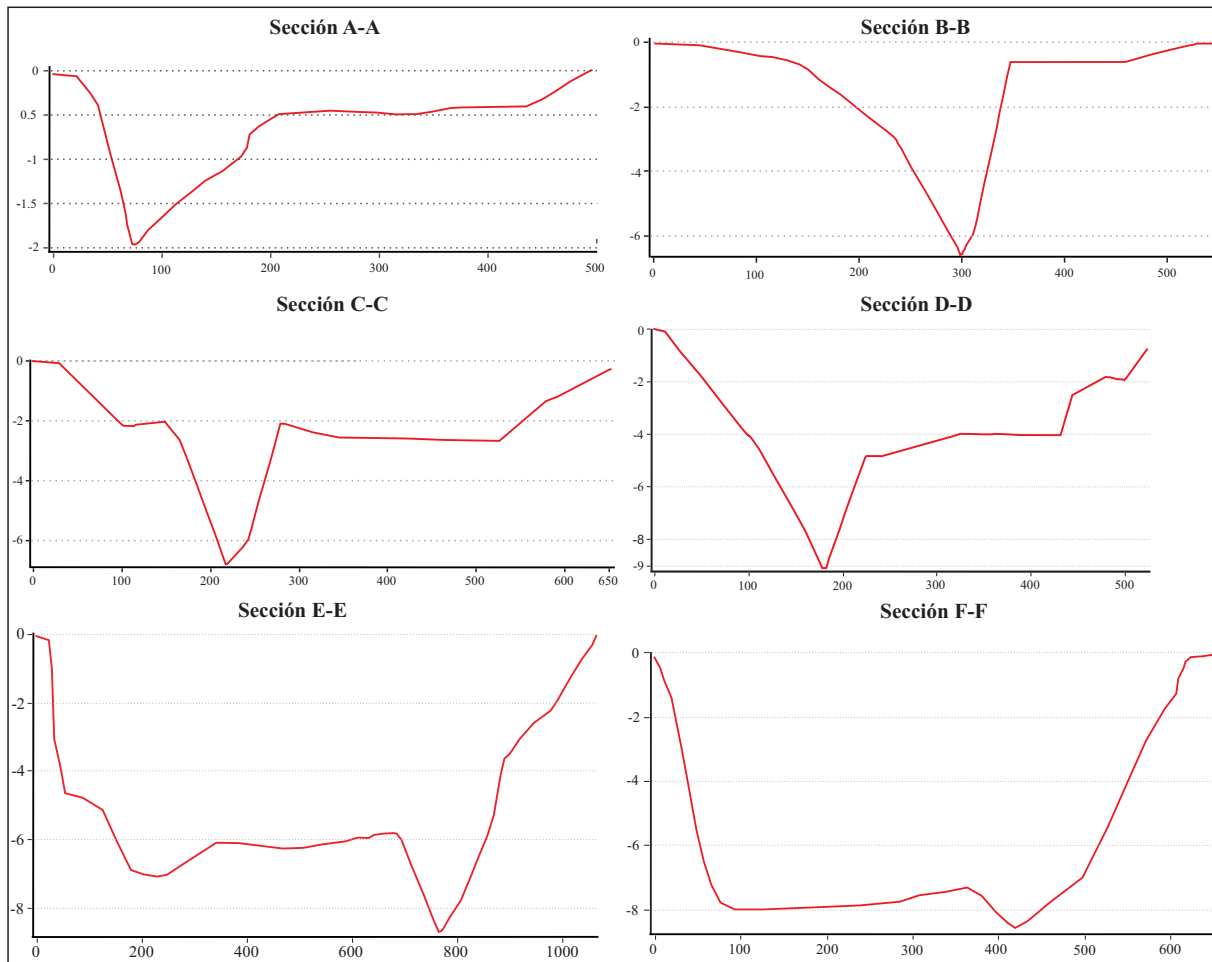


Figura 6. Descripción en gráficos de las secciones transversales

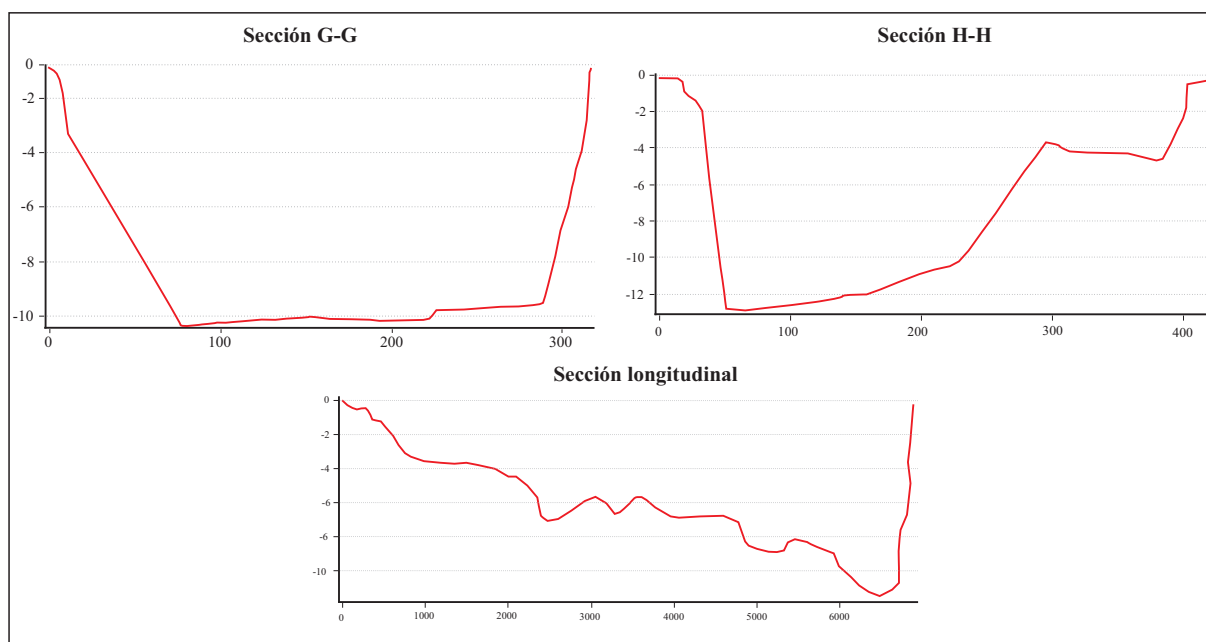


Figura 6. (Continuación)

IV. DISCUSIÓN

Existen dos parámetros morfológicos que varían en función de las precipitaciones y la evaporación, el área (A) y el perímetro (P). Estos parámetros son importantes teniendo en cuenta la climatología del área de estudio. Por ello, la laguna de Huamanpata presenta características especiales determinadas por las estaciones conocidas (época seca y época de lluvia) (Alva, 2010). La laguna de Huamanpata posee un área de 3,79 km² y es considerada como cuerpo de agua grande (Quirós *et al.*, 2005; Formeron, *et al.*, 2010). En este sentido, se clasifican así a aquellas lagunas con superficies mayores a 2 km².

La profundidad media (Z) es el parámetro morfométrico que mejor caracteriza y resume el funcionamiento y producción de un cuerpo de agua, además de la estructura ecosistémica (Formeron *et al.*, 2010; Del Carpio *et al.*, 2016; Montes, 2014), en ese sentido el valor de la profundidad media de la laguna de Huamanpata es de 4,51 m, lo que evidencia la buena interacción ecosistémica en el área de estudio.

Un parámetro importante que determina el grado de sedimentación de un lago, además de tener un papel importante en la calidad del agua, es el volumen (Sheela *et al.*, 2011; Díaz *et al.*, 2013; Arroba y Monserrath, 2013). Los grandes volúmenes son consecuencia natural de la evolución de la cubeta de un lago, pues a medi-

da que este envejece, parámetro de volumen se incrementa paulatinamente, por la constante acumulación de sedimentos (Carmona y Ruíz, 2014; Feriol, 2013). En el caso de la laguna Huamanpata, que es de origen fluvial (Alva, 2010), el volumen es de 17 087 988,16 m³, lo que la convierte en un ambiente acuático evolucionado. Por otra parte la curva hipsométrica (Hakanson, 1981) de la laguna Huamanpata nos da a conocer que esta se encuentra en fase de desequilibrio o juventud; sin embargo, es visible una evolución hacia la etapa de madurez, lo que implica un potencial erosivo considerable y se puede evidenciar al ver cómo cambia la forma de la cubeta de la laguna (Figura 5). Cabe destacar que la laguna Huamanpata posee una profundidad máxima de 13,35 m en la zona sur-este, la cual se encuentra determinada por los tragaderos o sumideros que posee. La poca profundidad de esta laguna es consistente con la uniformidad geomorfológica del área donde se encuentra ubicado, como ocurre con los cinco lagos estudiados por Parra *et al.*, (2003) en Chile, donde tres de los cuales no superaron los 18 metros de profundidad máxima.

En la laguna de Huamanpata se puede apreciar un grado de irregularidad de la costa o desarrollo del perímetro (D) de 11,17 que implica un mediano desarrollo de la línea de costa debido a la baja sinuosidad de la zona litoral. Esto indica la forma alargada del cuerpo de agua

(Contreras y Meichtry, 2013), que se corrobora con los valores del índice (relación de $L/W = 2,71$), y diferente a otros lagos, como el lago Honda, en el sur de España, que tiene una forma convexa (Castro *et al.*, 2003)

Con referencia al valor del índice de desarrollo de volumen (D_v) de la Laguna Huamanpata es mayor a la unidad lo que nos indica que su forma se aproxima a la letra U (Montoya-Moreno, 2008).

En la laguna de Huamanpata el valor de profundidad relativa (Z_r) fue de 0,61 %, indicando una clara tendencia a la mezcla, es decir, baja resistencia a la acción del viento (Gerald y Piccolo, 2008). Para la mayor parte de los lagos la relación $Z/Z_{\text{máx}}$ da un valor comparativo de la forma de la cubeta en términos de desarrollo volumétrico; normalmente este cociente es mayor que 0,33, valor que se obtiene en una depresión cónica (Wetzel, 1993; Hernani y Ramírez, 2003). El valor de la laguna Huamanpata para dicha razón fue de 2,96, es decir, sinusoide elíptico (Rivera-Rondón *et al.*, 2010). Las secciones transversales y longitudinales dan a conocer la forma del fondo de la laguna Huamanpata cada 100 m, lo cual nos muestra claramente que la laguna se encuentra en una zona poco inclinada, y esto propicia que la laguna tenga distintas profundidades que van de menor a mayor en dirección Noroeste a Sureste.

Existen discrepancias en cuanto a la definición de lago y laguna, dado que muchos autores se contradicen. En ese sentido, a partir de las definiciones de Forbes (1887); Raasveldt y Tomic (1985), y Pérez y Restrepo (2008), Humanpata es considerada como una laguna.

V. CONCLUSIONES

El estudio de la laguna Huamanpata permitió conocer que posee una profundidad máxima de 13,35 m en el sector sur-este de la misma la cual la cataloga como poca profunda. Los parámetros medidos en la laguna varían en función a la temporalidad en que se encuentra ya sea entre la temporada de lluvias que comprenden los meses noviembre hasta mayo y en ocasiones hasta el mes de junio, que es cuando la laguna llega a su máximo nivel. En este sentido, la formación de la laguna temporal se da con el incremento de las lluvias, a partir del mes de diciembre, cuando el caudal se incrementa y el agua comienza embalsarse en la parte baja del valle, ya que los sumideros que son los únicos medios de

evacuación de las aguas del río se obturan; esto se debe a un fenómeno particular que ocurre en una parte del valle del Huamanpata, el cual se estrecha por el afloramiento de formaciones de rocas calizas cerrando el paso del río, que pasa a través de unos sumideros u ojos hacia el otro lado (Fuentes-Pérez *et al.*, 2015).

En cuanto al volumen, esta laguna se caracteriza por ser de carácter efímero porque cambia constantemente de volumen. Presenta una cubeta somera de forma alargada en la dirección sureste.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alva, R. Evaluación de los recursos turísticos, informe temático. Proyecto Zonificación Ecológica y Económica del departamento de Amazonas, convenio entre el IIAP y el Gobierno Regional de Amazonas. Iquitos – Perú. 2010.
- Arroba, T., y A. Monserrath. *Evaluación de la calidad del agua en la parroquia San Pablo del Lago, Cantón Otavalo, provincia de Imbabura, utilizando un cromatógrafo de intercambio iónico con supresión química, previamente validado el método APHA 4110*. 2013. Tesis Doctoral. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. 2013.
- Barroso G. F., M. A. Gonçalves y F. C. García. “The morphometry of lake Palmas, a deep natural lake in Brazil. Plos One Vol. 9 (2014): e111469.doi: 10.1371/journal.pone.0111469.
- Carmona, P. y J. M. Ruiz. “Procesos geomorfológicos en llanos de inundación y lagos costeros mediterráneos. El cambio ambiental histórico en la Albufera de Valencia (España)”. *Cuaternario y Geomorfología*, Vol. 28 (2014): 95-106.
- Castro, M. C., M. Rivera, M. Crespo, J.M. Martín-García y F. Guerrero. “Morphological and sedimentological characterization of Honda temporary lake (southern Spain)”. *Limnetica*, Vol. 22 (2003): 147-154.
- Cole, G. A. *Textbook of Limnology* (4 ed.). Illinois (USA), 1994.
- Contreras, F. I. y N. C. Meichtry. *Morfometría de lagunas de la Lomada Norte*. Corrientes (Argentina), 2013.
- Degano, M. F., M. I. Rodríguez y C. M. Dasso. “Dinámica térmica de cuerpos de aguas eutróficas:

- caso Embalse San Roque”. *Revista de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, Vol. 3 (2016): 93-100.
- Del Carpio, A. L., C. G. Peralta, C. G. y N. C. Aliaga. “Caracterización morfobatimétrica y estimación de sedimentos de la bahía interior de Puno, lago Titicaca, mediante tecnología SIG”. *Revista de Investigaciones Altoandinas-Journal of High Andean Research*, Vol. 18 (2016): 237-248.
- Díaz-Vargas, M., E. Elizalde, H. Quiroz, J. García e I. Molina. Caracterización de algunos parámetros físico químicos del agua y sedimento del lago Zempoala, Morelos, México. *Acta Universitaria*. Universidad de Guanajuato. 15 (2005): 57-65.
- Ferriol Gabarda, C. La eutrofización en los lagos someros mediterráneos: aplicabilidad de la DMA y un caso de estudio experimental en mesocosmos. 2013.
- Fornerón, C. F., M. C. Piccolo y M. E. Carbone. “Análisis morfométrico de la laguna Sauce Grande (Argentina)”. *Huellas*, Vol. 14 (2010): 11-30.
- Fuentes-Pérez, J. F., J. Navarro Hevia, J. Ruíz Legazpi y A. García-Vega “Inventario y caracterización morfológica de lagos y lagunas de alta montaña en las provincias de Palencia y León (España)”. *Pirineos*, Vol. 170 (2015): 13.
- Geraldi, A. y M. Piccolo. *Estudio batimétrico de la laguna Epecuén con aplicación de SIG*. Buenos Aires (Argentina), 2008.
- Gunkel, G. y J. Casallas. “Limnology of an equatorial high mountain lake—Lago San Pablo, Ecuador: the significance of deep diurnal mixing for lake productivity”. *Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters*, Vol. 32 (2002): 33-43.
- Hakanson, L. *A manual of lake morphometry*. Berlín (Alemania), 1981.
- 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.
- IIAP (Instituto de la Amazonia Peruana) / GRA (Gobierno Regional Amazonas). *Zonificación ecológica y económica del departamento de Amazonas*. Lima (Perú), 2010.
- Margalef, R. *Limnología*. Barcelona (España), 1983.
- Montes Zarazúa, Z. *Efecto de regulación de cuerpos de agua en la producción de sedimentos en cuencas hidrográficas*. Tesis Doctoral. 2014.
- Montoya-Moreno, Y. “Caracterización morfométrica de un sistema fluviolacustre tropical, Antioquia, Colombia”. *Caldasia*, Vol. 30 (2008): 413-420.
- Ordoñez, G. *Cartilla Técnica: Aguas Subterráneas - Acuíferos*. Lima (Perú), 2011.
- Parra, O., C. Valdovinos, R. Urrutia, M. Cisternas, E. Habit y M. Mardones. “Caracterización y tendencias tróficas de cinco lagos costeros de Chile central”. *Limnetica*, Vol. 22 (2003): 51-83.
- Popielarczyk, D., T. Templin y M. Lopata. “Using the geodetic and hydroacoustic measurements to investigate the bathymetric and morphometric parameters of Lake Hancza (Poland)”. *Open Geosciences*, Vol. 7 (2015): 854-869.
- Quirós, R., M. Boveri, A. Rennella, C. Petracchi, J. Rosso, A. Sosnovsky y H. Von Bernard. “Los efectos de la agriculturización del humedal pampeano sobre la eutrofización de sus lagunas”. *EUTROSUL*, Vol. 1 (2005): 1-14.
- Rivera-Rondón, C. A., A. Zapata y J. C. Donato-Rondón. “Estudio morfométrico del lago Guatavita (Colombia)”. *Acta Biológica Colombiana*, Vol. 15 (2010): 131-144.
- Romero, F., y Mejía, N. P. Batimetría del Lago de Yojoa. *Revista Técnico-Científica Tatascan*. Volumen 19 (2007).
- Vega, J. C., C. De Hoyos, J. Aldasoro, J. De Miguel y H. Fraile. “Nuevos datos morfométricos para el Lago de Sanabria”. *Limnetica*, Vol. 24 (2005): 115-122.
- Sheela, A. M., J. Letha y S. Joseph. “Environmental status of a tropical lake system”. *Environmental monitoring and assessment*, Vol. 180 (2011): 427-449.
- Von Sperling, E. *Morfología de lagos e represas*. Belo Horizonte (Brasil), 1999.
- Wetzel, R. G. *Limnología*. Lisboa (Portugal), 1993.