



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES**

### **CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**“ESTRATEGIAS DE CONTROL Y CONSERVACIÓN EN RELACIÓN CON LA CAPACIDAD DE  
ALMACENAMIENTO HÍDRICO DE LA LAGUNA HUARMICOCHA, CANTÓN PEDRO MONCAYO”**

#### **AUTORAS**

ERIKA FERNANDA MAYNAGUEZ LLORÉ  
EVELYN KATHERINE TUMBACO BENÍTEZ

#### **DIRECTORA**

Ing. Elizabeth Velarde MSc

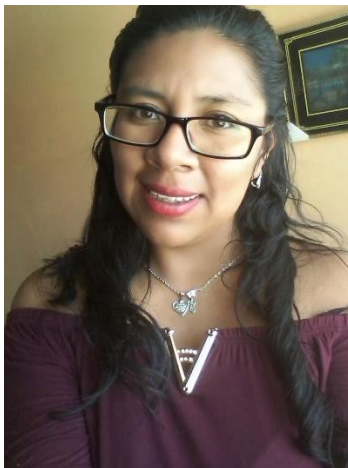
#### **ASESORES**

Ing. Melissa Layana MSc  
Ing. Oscar Rosales MSc  
Ing. Gabriel Jácome MSc

**Ibarra – Ecuador  
2019**

**Lugar de investigación:** Laguna Huarmicocha- Mojanda, Pedro Moncayo

### **HOJA DE VIDA**



**APELLIDOS:** MAYNAGUEZ LLORE

**NOMBRES:** ERIKA FERNANDA

**C. CIUDADANÍA:** 100338059-7

**TELÉFONO CELULAR:** 0999284569

**CORREO ELECTRÓNICO:** fernandamay042014@gmail.com

**DIRECCIÓN:** Ibarra- Imbabura

**FECHA DE DEFENSA DE TRABAJO DE GRADO:** 28 de septiembre del 2019

**HOJA DE VIDA**



**APELLIDOS:** TUMBACO BENÍTEZ

**NOMBRES:** EVELYN KATHERINE

**C. CIUDADANÍA:** 172447437-2

**TELÉFONO CELULAR:**

**CORREO ELECTRÓNICO:** evekat1993@gmail.com

**DIRECCIÓN:** Cayambe-Pichincha

**FECHA DE DEFENSA DE TRABAJO DE GRADO:** 28 de febrero del 2019

**REGISTRO BIBLIOGRÁFICO**

**Guía:** FICAYA – UTN

**Fecha:** Ibarra, a los 26 días del mes de febrero del 2019

ERIKA FERNANDA MAYNAGUEZ LLORÉ  
EVELYN KATHERINE TUMBACO BENÍTEZ

**“ESTRATEGIAS DE CONTROL Y CONSERVACIÓN EN RELACIÓN CON LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO HÍDRICO DE LA LAGUNA HUARMICOCHA, CANTÓN PEDRO MONCAYO”**

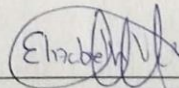
**TRABAJO DE GRADO**

Ingenieras en Recursos Naturales Renovables. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales. Ibarra. **Febrero 2019. 162 pp.**

**DIRECTORA:** *MSc. Delia Elizabeth Velarde Cruz.*

Los lagos altoandinos son fuentes importantes de agua y son considerados ecosistemas frágiles debido a la diversidad de plantas y animales endémicos que poseen. La Laguna Huarmicocha se califica como un cuerpo de agua oligotrófico de alta montaña y de acuerdo con el balance hídrico presenta un déficit en la variación de almacenamiento hídrico de -100,41 l/s en época seca y -203,54 l/s en época de lluvia., además indica un déficit semestral de -303.96 l/s en la capacidad de almacenamiento. Es importante aplicar estrategias que permitan recuperar las condiciones ecológicas de este ecosistema acuático.

**DIRECTORA DE TESIS**



MSc. Delia Elizabeth Velarde Cruz

**AUTORAS**



Maynaguez Lloré Erika Fernanda



Tumbaco Benítez Evelyn Katherine

## ESTRATEGIAS DE CONTROL Y CONSERVACIÓN EN RELACIÓN CON LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO HÍDRICO DE LA LAGUNA HUARMICOCHA, CANTÓN PEDRO MONCAYO

Fernanda Maynaguez\*, Evelyn Tumbaco\*<sup>1</sup>, Elizabeth Velarde<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica del Norte

Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales Av. 17 de julio 5-21 y José Córdova, Ibarra-Ecuador Teléfono: 00593-6-2997800

\*Autor correspondiente: e-mail: fernandamay042014@gmail.com, evekat199@gmail.com

### RESUMEN

Los lagos altoandinos son fuentes importantes de agua y son considerados ecosistemas frágiles debido a la diversidad de plantas y animales endémicos que poseen. Sin embargo, a causa de las actividades antrópicas estas áreas naturales están desapareciendo de manera acelerada. Esta investigación se realizó en el sistema lacustre Mojanda, en la laguna Huarmicocha, la cual posee una extensión de 142.563,14 m<sup>2</sup>. A través de una batimetría se obtuvo datos morfométricos y fisicoquímicos, que califica a la laguna como un cuerpo de agua oligotrófico de alta montaña, poco profundo y de forma oval redondo u oval oblongo. Durante los meses de enero a junio mediante el registro de datos de caudales entrantes y salientes, precipitación, evaporación y el análisis del balance hídrico; se determinó que la cubeta lacustre presenta un déficit de -303,96 l/s con respecto a la capacidad de almacenamiento hídrico esto se debe a que los elementos del balance hídrico de la laguna varían significativamente.

**Palabras clave:** Lagos altoandinos, balance hídrico, parámetros morfométricos, parámetros fisicoquímicos, monitoreo hidrológico

### SUMMARY

High mountain lakes are important sources of water and are considered fragile ecosystems due to their diversity of endemic plants and animals. However, these natural areas are disappearing rapidly due to anthropogenic activities. Our research was carried out in the Mojanda lacustrine system within Huarmicocha lake which has an area of 142,563.14 m<sup>2</sup>. Morphometric and

Finally, the strategy of "Conservation and control for the Huarmicocha lake" was formulated with the purpose of recovering the ecological conditions of the body of water. With the information generated in the present work, it is expected that local actors act in an effective way, establishing public policies that contribute to the declaration as a Conservation and Sustainable Use Area (ACUS) to the Mojanda zone; as it is a water reserve of great importance for the Pedro Moncayo canton.

physicochemical data were obtained with bathymetry and it was identified as a high mountain lake with oligotrophic water, shallow and round oval shape. From January to June, data related to inflows and outflows, precipitation, evaporation and water balance analysis

was recorded. Data analysis determined that the lacustrine basin shows a deficit of -303,96 l/s in

terms of water storage capacity, because the elements of the water balance of the lake vary significantly. Finally, the strategy of "Conservation and control for Huarmicocha Lake" was formulated with the purpose of recovering the ecological conditions of the water body. With the information generated in this

research, it is expected that locals act effectively, establishing public policies that contribute to the declaration of Mojanda as Area of Conservation and Sustainable Use (ACUS), since it is a water reserve of great value for canton Pedro Moncayo.

**Keywords:** High Mountain Andean Lakes, water balance, morphometric parameters, physicochemical parameters, hydrological monitoring.

## INTRODUCCIÓN

Los humedales de alta montaña cumplen un papel muy importante en el mantenimiento de la salud, regulación hídrica de las cuencas hidrográficas y oferta de bienes y servicios ambientales (Ministerio de ambiente de Colombia, 2001). El valor ecológico de los lagos altoandinos genera interés en investigadores a nivel global, sin embargo, los estudios realizados sobre cuerpos de agua del Ecuador son escasos en comparación con el resto de los países en Sudamérica.

El Ecuador, posee una gran variedad y cantidad de lagunas de alta montaña que tienen gran importancia ecológica, económica y social, debido a los beneficios ecosistémicos que estos proveen (Ministerio de Ambiente de Ecuador, 2015). No obstante, las investigaciones limnológicas en el país son dispersas y la falta de información técnica impide realizar estudios aplicables y específicos

Por lo cual, estos ecosistemas requieren mayor gestión por parte de gobiernos sectoriales, por lo que al momento se están convirtiendo en ambientes naturales amenazados a causa del desmedido aprovechamiento de agua para uso agrícola, de la extensión de la frontera agrícola, los incendios forestales, la contaminación ambiental, entre otros, que han ocasionado la disminución y desaparición de los sistemas acuáticos altoandinos (World Wildlife Fund, 2005).

El objetivo dos del marco estratégico de la Convención Ramsar en 1971, propone el uso racional de los humedales definido como "el mantenimiento de sus características ecológicas, mediante la implementación de enfoques por

ecosistemas, dentro del contexto del desarrollo sostenible" a nivel local, subnacional, nacional, supranacional/regional e internacional (Ramsar, 2009).

Desde el punto de vista hidrológico, el Sistema lacustre Mojanda abastece de agua a cerca de un 60% de la ciudad de Otavalo y a más del 80% del requerimiento urbano y rural del cantón Pedro Moncayo (Ruíz, 2015).

El Sistema Lacustre Mojanda se ha visto afectado por las actividades económicas que se desarrollan en el cantón. Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2010) el 64% de la población se dedicaba a la agricultura, la ganadería, la silvicultura y la pesca, siendo éstas las actividades económicas más importantes del cantón Pedro Moncayo. Dando lugar a múltiples problemas como el avance de la frontera agrícola, quema de pajonal, conflictos de tenencia de tierras, deforestación, uso de pesticidas y consumo arbitrario del agua incluso la presencia de infraestructura de producción piscícola que se ha ido deteriorando con el paso de tiempo interrumpiendo los procesos naturales del sistema lacustre (Mendoza, 2017).

La laguna Huarmicocha o laguna hembra ubicada en el sistema lacustre Mojanda, cuenta con una concesión de agua (4,05l/s), otorgada a una comunidad del cantón Otavalo. Si bien es cierto que la laguna Huarmicocha cuenta con información inicial referente a la calidad de agua que posee, sin embargo, no dispone de información técnica referente a la capacidad de almacenamiento hídrico, morfometría superficial o bajo la superficie del agua; también aspectos importantes que influyen en objeto de estudio

# ESTRATEGIAS DE CONTROL Y CONSERVACIÓN EN RELACIÓN CON LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO HÍDRICO DE LA LAGUNA HUARMICOCHA, CANTÓN PEDRO MONCAYO

como la precipitación, la infiltración, la escorrentía, la evaporación y evapotranspiración, entre otros (Solano, Páez y Aguilar, 2016).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El sistema lacustre Mojanda está conformado por las lagunas Caricocha, Huarmicocha, Yanococha y Chiri Yacu, se ubican entre 2500 msnm a los 3730 m s.n.m (Tocagón et al., 2012; GAD Pedro Moncayo, 2015). Presenta formaciones ecológicas de bosque siempreverde montano de cordillera occidental de los Andes, siempre Verde de páramo y herbazal de páramo (MAE, 2009). Geográficamente se encuentra localizado en la Sierra Norte del Ecuador a 60 km de la ciudad de Quito (Ruíz, 2015). La laguna Huarmicocha tiene una forma oval redondo u oval oblongo, con una superficie de 142.563,14 m<sup>2</sup> y una profundidad máxima (Zm) de 8 (Figura 1). Este ecosistema acuático se ha visto afectado por actividades antrópicas que han generado alteraciones en su proceso ecológico e hidrológico.

### Metodología

- a) Levantamiento de información batimétrica de la laguna Huarmicocha

Se realizó un recorrido batimétrico el 27 de enero del 2018, se empleó una ecosonda GPSMap 526s conectada a un navegador GPSMap Garmin 526s y una computadora de campo Durabook montados en el bote Sea Eagle 14S y sujetos a una estructura de madera, de esta manera asegurando el buen funcionamiento de los equipos y una recolección de datos óptima. El recorrido cubrió la totalidad de la cubeta lacustre, se empezó desde la zona litoral hasta la zona más profunda (Revelo, 2017). De esta manera se obtuvo los parámetros morfométricos de la cubeta lacustre (Tabla1).

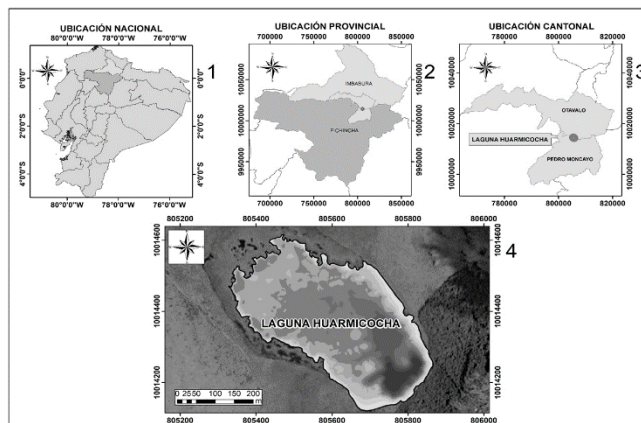


Figura 1. Ubicación de la laguna Huarmicocha

- b) Obtención de la línea base de parámetros fisicoquímicos de la laguna Huarmicocha

En el punto más profundo cuyas coordenadas UTM WGS84, Zona 17 S, son X= 805736 y Y= 10014184, y con el empleo del Hidrolab HL4 se determinó los parámetros de potencial de hidrogeno (pH), conductividad, temperatura (T°), oxígeno disuelto (OD), oxígeno disuelto saturación (OD%) y presión barométrica *in situ*, desde 1 m hasta 4 m de profundidad. Para el parámetro de turbidez se empleó el Disco Secchi se registró dos valores de profundidad en la ficha de campo y se calculó el promedio de las profundidades (Goyenola, 2017).

| Parámetro                   | Simbología | Unidades       |
|-----------------------------|------------|----------------|
| Área                        | N          | m <sup>2</sup> |
| Perímetro                   | L          | km             |
| Longitud máxima total       | L          | m              |
| Volumen                     | V          | m <sup>3</sup> |
| Profundidad máxima          | Zm         | m              |
| Profundidad media           | Z          | m              |
| Línea de desarrollo costero | DL         | m              |
| Latitud                     | N          | -              |
| Longitud                    | W          | -              |
| Altitud                     | M          | -              |
| Amplitud máxima             | B          | -              |
| Forma de la laguna          | F,L        | -              |

Tabla 1. Parámetros morfométricos

- c) Determinación de condiciones climáticas

Se consideraron los registros meteorológicos de las estaciones: Tomalón, Malchingui, Otavalo y Mojanda entre los años de 1998 a 2015, información diaria de precipitación (mm) y temperatura (T°) resumidos en promedios mensuales mm/mes y T°/mes de la base de datos

del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). Los datos meteorológicos fueron obtenidos mediante la aplicación del método de interpolación espacial (Inverse Distance Weighted-IDW) con ayuda del software ArcGIS 10.4. El método de interpolación permite utilizar valores conocidos para estimar valores desconocidos entre estaciones más cercanas. El valor del atributo Z en una posición no es conocido, pero es un promedio de los valores de los puntos vecinos, donde los puntos más cercanos tienen más peso o importancia que los más alejados. El estimado se calcula como la media ponderada de los valores registrados en las estaciones cercanas, a las cuales se les asigna un peso o influencia (Andrade y Moreano, 2013; Santos, 2014).

El método IDW se determina mediante la siguiente fórmula:

$$\lambda_i = \frac{d_i^0 - p}{\sum d_i^0 N - p_i} = 1$$

Donde,  $d_i^0$  es la distancia entre el lugar de predicción (S0) y cada lugar muestreado (Si), a medida que la distancia se hace más grande, el peso es reducido a un factor p es la distancia entre el lugar de predicción S0 y cada lugar de la muestra Si, a medida que la distancia se hace más grande el peso es reducido por un factor p, Z(S0) es el valor que se intenta predecir para el lugar (S0), N es el número de puntos muestrales alrededor del lugar que se va a predecir y que serán tenidos en cuenta para el cálculo,  $\lambda_i$  es el peso asignado a cada punto muestral y Z(Si) es el valor observado del lugar Si (Torrecilla, Domínguez y Jiménez, 2010; Buitrago y Barbosa, 2016).

#### d) Medición de caudales

Se realizó un monitoreo hidrológico mensual en caudales de entrada y salida, mediante la aplicación de los métodos volumétrico, vertedero y flotador. En los meses de enero a mayo del 2018, se empleó el método volumétrico expuesto por Bustamante (2006) para caudales pequeños. Se aplicó la fórmula de media aritmética para obtener los resultados de las cinco repeticiones de tiempo (s):

$$\bar{t} = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5}{5}$$

Para el cálculo del caudal se empleó la fórmula:

$$Q = v/t$$

Donde:

Q = caudal en litros por segundo, (l/s)

v = Volumen en litros, (l)

t = Tiempo en segundos, (s)

Durante los meses de abril a junio del 2018, se aplicó el método de flotador para caudales mayores; donde se determinó la velocidad superficial del flujo del agua y se consideró cinco repeticiones para obtener un valor promedio de velocidad.

Para calcular el caudal se empleó:

$$Q = A * v * n$$

Q = Caudal en metros sobre segundo, (m/s<sup>3</sup>).

A = Área transversal promedio, (m<sup>2</sup>).

v = Velocidad superficial, (m/s).

n = Factor que depende del material del fondo del canal y que corrige el valor de velocidad superficial por un valor de velocidad media representativa del flujo. Se consideró el factor de correlación 0,90 de acuerdo con la Guía de Prácticas Hidrológicas (OMM, 1994).

Para corrientes de bajo caudal se empleó el método del vertedero rectangular y triangular, el mismo que puede ser aplicado en el caso de que el método volumétrico sea inoperante. Su aplicación permite interceptar la corriente del canal, causando una elevación del nivel aguas arriba, haciendo que el agua superficial retroceda un poco y fluya a través o sobre ella, permitiendo el control de los niveles para medir los caudales (IDEAM, 2010; Marbello, 2005; Monsalve, 2009).

#### Método de vertedero triangular

Se utilizó en los meses de enero-marzo del 2018 en uno de los caudales de salida, el mismo que consistió en una lámina metálica previamente elaborada con dimensiones 40 x 40 cm y una incisión en V de 15 cm con un ángulo de 90°. Se empleó la fórmula de Thomson siendo la más usada (Bello y Pino, 2000; IDEAM, 2007; Rocha, 2015).

#### Fórmula de Thomson

$$Q = 1,4 \times H^{5/2}$$

Donde:

Q = Gasto (m<sup>3</sup>/s)

H= Altura o carga de agua (m), abarcando cargas 0,05<H<0,25 m



### *Método del vertedero rectangular*

En uno de los canales de salida se encontraba construido un vertedero rectangular con material de hormigón de 59 cm de longitud, fue utilizado en los meses de abril y junio del 2018. Este tipo de vertedero es uno de los más sencillos para construir y más usados a nivel predial. Su margen de error fluctúa entre 3 y 5 % (Bello y Pino, 2000). Se aplicó la fórmula de Francis para determinar el caudal total (Figura 8).

#### **Fórmula de Francis**

$$Q = 1,84 \times (L - 0,2H) \times H^{3/2}$$

Donde:

$Q$  = Gasto ( $m^3/s$ )

$H$  = Altura o carga leída en el punto de referencia (m)

$L$  = Largo de la cresta del vertedero en (m)

- e) Disponibilidad de agua de la cubeta lacustre mediante la aplicación de la ecuación simplificada del balance hídrico

Para conocer la disponibilidad de agua almacenada ( $\Delta S$ ) y mediante una sumatoria y una resta entre variables como precipitación, evaporación, caudal de entrada y salida se obtuvo el volumen mensual de agua almacenada (mm/mes) (Kevede, et al, 2005). Los datos utilizados fueron promedios mensuales de precipitación y evaporación en mm del periodo enero 2018 – junio 2018. Para obtener las estimaciones reales se realizó una multiplicación con la superficie de la laguna según indica en la Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico en américa del sur (1982). Finalmente, se aplicó los datos en la ecuación simplificada expuesta por Lam, Bates, Coombes y Marshall (2011) para lagos endorreicos.

$$P + Q_{si} - E - Q_{ui} - \Delta S = 0$$

Donde:

$P$  = Precipitación

$Q_{si}$  = Caudal de ingreso

$E$  = Evaporación

$Q_{ui}$  = Caudal de salida

$\Delta S$  = Variación de almacenamiento de agua

- f) Estrategias de control y conservación para la laguna Huarmicocha

La estrategia de control y conservación fue planteada en base a investigaciones bibliográficas de estudio de caso con estrategias de conservación en lagos y manuales de técnicas de conservación, para así lograr sugerir los adecuados medios que permitan la sustentabilidad del ecosistema, en función de los resultados obtenidos en el balance hídrico y parámetros morfométricos de la laguna Huarmicocha. A través de la aplicación de “mapas parlantes” a los miembros de la Fundación Ambiental Urcu Camas se recopiló información permitiendo analizar diferentes situaciones y actividades que se presentan en la comunidad a partir de factores sociales, económicos y ambientales (Hoffmann et al. 2014; Tibaná, 2017; Pereira, 2014). Para formular una estrategia adecuada a la realidad del ecosistema, se consideró el esquema cinco S: Sistemas (systems), presiones (stresses), fuentes (sources), estrategias (strategies) y Éxito (success) propuesto por The Nature Conservancy (Rodríguez y Fuenmayor, 2012).

## **RESULTADOS**

### **Descripción Morfológica de la Laguna Huarmicocha**

La información morfológica de la laguna Huarmicocha, descrita a partir del levantamiento de información batimétrica se detalla en la Tabla 9, donde se registró que la longitud máxima total (l) fue de 561,08 metros y 299,67 de ancho máximo (AM) metros, los cuales cubren el área total de la laguna. El área lagunar fue de 142,563,14 m<sup>2</sup> y el volumen total de 816,464,02 m<sup>3</sup> de agua, la profundidad máxima fue de 8 metros, la profundidad media de 3,65 metros. El perímetro lagunar fue de 2,13 kilómetros y la línea de desarrollo costero fue de 0,1 m; Estos datos determinan que es una laguna poco profunda con forma oval redondo u oval oblongo de acuerdo la clasificación de O'Sullivan (2005) (Tabla 2).

Estudios similares (Contreras y Paira, 2015; Benjumea, Wils y Aguirre, 2017; Fomerón, Piccolo y Carbone, 2010; Rivera, Zapata y Donato, 2010) aseguran que los parámetros morfométricos pueden variar en función de las precipitaciones y la evaporación del área en estudio. Del mismo modo, Montoya, Velez y Aguirre (2014); Buytaert, Céleri, De Bièvre y Cisneros (2012), manifiestan que el gradiente altitudinal, la variabilidad de temperatura, las precipitaciones, las actividades antrópicas, la

ESTRATEGIAS DE CONTROL Y CONSERVACIÓN EN RELACIÓN CON LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO HÍDRICO DE LA LAGUNA HUARMICOCHA, CANTÓN PEDRO MONCAYO

escorrentía, la infiltración, las propiedades del suelo y el cambio climático son factores que constituyen una fuente de variación en la morfología de las cubetas lacustres.

| Parámetro                        | Unidad         | Valor                       |
|----------------------------------|----------------|-----------------------------|
| Área (N)                         | m <sup>2</sup> | 142.563,14                  |
| Perímetro (L)                    | km             | 2,13                        |
| Longitud máxima total (l)        | m              | 561,08                      |
| Volumen (V)                      | m <sup>3</sup> | 816.464,02                  |
| Profundidad máxima (Zm)          | m              | 8                           |
| Profundidad media (Z)            | m              | 3,65                        |
| Línea de desarrollo costero (DL) | m              | 0,1                         |
| Coordenada X                     | m              | 10014363                    |
| Coordenada Y                     | m              | 805825                      |
| Altitud (m)                      | m,s,n,m        | 3752                        |
| Amplitud Máxima (AM)             | m              | 299,67                      |
| Forma de la Laguna (F,L)         | -              | Oval redondo u oval oblongo |

Tabla 2. Parámetros morfométricos de la laguna Huarmicocha

*Distribución espacial del agua por cotas de profundidad de la laguna Huarmicocha*

Los datos del levantamiento de información batimétrica mostraron que el cuerpo de agua tiene una superficie total de 142.563,14 m<sup>2</sup>. Para ilustrar la distribución de volumen y superficies de agua almacenada a distintas profundidades en la laguna, se establecieron cotas de profundidad, desde 1 m hasta 8 m para determinar el área y volumen por cada cota de profundidad y el volumen total (Wetzel, 1981). En la Figura 2 se muestra la cota entre los 6 m y 7 m, ocupando la mayor superficie con 54.368,26 m<sup>2</sup> que representa el 38,14%, seguido de la cota entre los 5 m y 6 m con 26.707,18 m<sup>2</sup> que representa el 18,73% y la cota de 1 m a 2 m posee la menor superficie de la cubeta lacustre con 998,44 m<sup>2</sup> que representa el 0,70% , que según Poi y Galassi (2013), superficies < 500 ha son características propias de lagunas pequeñas que generalmente se alimentan por lluvias.

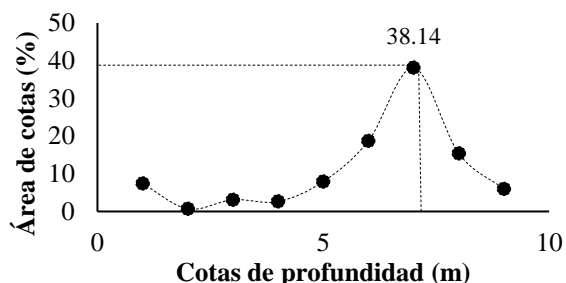


Figura 2. Relación profundidad (m) vs área de cotas con respecto al área total de la laguna Huarmicocha (%)

El volumen total de la laguna Huarmicocha fue de 816,464,02 m<sup>3</sup>, la cota con mayor volumen esta entre los 6 y 7 m con 353,394 m<sup>3</sup> representa un 43,3%, seguido por la cota entre los 7 y 8 m con 164,683 m<sup>3</sup> lo que equivale al 20,2%. La cota entre los 5 y 6 m tiene 14,688,9 m<sup>3</sup> con un 18,0% y la cota con menor volumen es la de 1 y 2 m con 1,497,67 m<sup>3</sup> que representa el 0,2%. Estos volúmenes presentan valores similares a los lagos de Etiopía donde se observa que las cotas de profundidad intermedias son las que mayor volumen poseen y las cotas profundas las que menor volumen ocupan (Kevede, et al., 2005) (Figura 3).

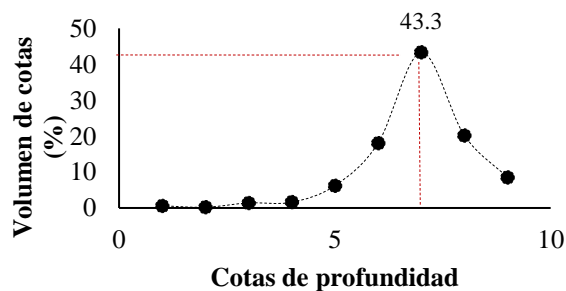


Figura 3. Relación profundidad (m) vs volumen de cotas (%)

*Cortes de la cubeta lacustre*

Desde el punto de vista batimétrico, las gráficas de cortes transversal de obtuvo del dato de amplitud máxima (299,67 m) y longitudinal (561,08 m) que se presenta en la (Figura 4).

ESTRATEGIAS DE CONTROL Y CONSERVACIÓN EN RELACIÓN CON LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO HÍDRICO DE LA LAGUNA HUARMICOCHA, CANTÓN PEDRO MONCAYO

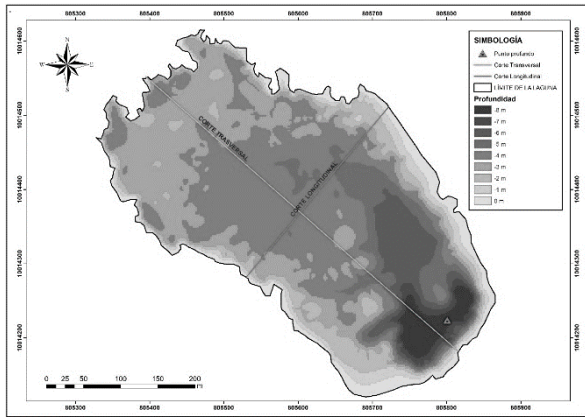


Figura 4. Corte trasversal y longitudinal de la cubeta lacustre

a) Corte Transversal o vertical

El corte transversal o vertical mostró que la profundidad máxima se localiza en la parte Sureste (SE) del cuerpo de agua, zona donde desemboca el único caudal de entrada permanente, alcanzando una profundidad de 8 m por lo que no se evidenció sedimentación. En cuanto a las profundidades mínimas se ubican en la parte Noreste (NO) de la laguna Huarmicocha, área donde se encuentran las cuatro descargas de la laguna y se evidencia sedimentación debido a sus profundidades someras y se reduce la velocidad del agua (Figura 4).

b) Corte Longitudinal u horizontal

En el corte longitudinal u horizontal se localizaron profundidades desde 0,5 cm hasta 5,2 m. Encontrándose la profundidad máxima en el centro del cuerpo de agua, parte Suroeste (SO) de la laguna (Figura 4). En esta imagen se visualiza la escasa profundidad (5,2 metros) que posee la laguna con relación a la amplitud máxima de 550 m2.

*Análisis de la curva hipsométrica de la laguna Huarmicocha*

De acuerdo con la forma de la curva hipsométrica de la laguna Huarmicocha (Figura 5), corresponde a una laguna de edad adulta o fase de madurez, este parámetro permite evaluar el nivel de erosión y el grado de equilibrio dinámico

de la laguna (Strahler, 1964). Se puede evidenciar que el área de drenajes superficiales ocupa un 0,6% presenta mayor sedimentación, además, de acuerdo con la convexidad de la curva indica un fuerte potencial erosivo; lleva a definirla teóricamente como una laguna cercana al equilibrio morfogenético (Vargas y Mardones, 2007).

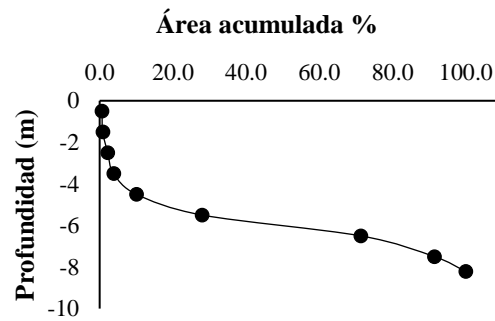


Figura 5. Curva hipsométrica correspondiente a la laguna Huarmicocha

*Análisis de los parámetros fisicoquímicos de la laguna Huarmicocha*

a) Potencial de hidrógeno (pH)

El valor de pH, presenta una tendencia a la alcalinidad en el sistema oscilando entre 7,11 y 7,73 unidades en una columna de agua de cero (0) m a 4 m. El valor mínimo (7,11) se registró a 4 m de profundidad, mientras que el valor máximo (7,73) a la profundidad de cero (0) m. Los datos registrados son considerados normales para un agua natural y de alta montaña; no supone ningún problema para la vida acuática, por lo tanto, es considerado aceptable por encontrarse dentro de los rangos de 6,5 y 8,5 unidades (Figura 6) (Cooke, Welch, Peterson y Nichols, 2015).

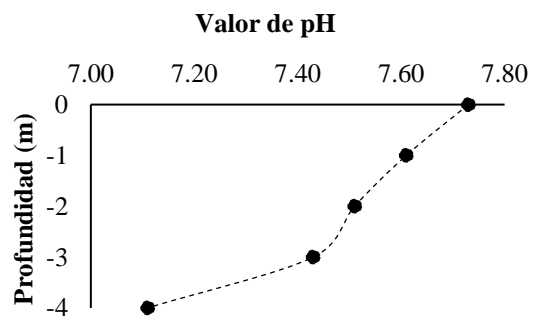


Figura 6. Relación profundidad vs pH de la laguna Huarmicocha

El valor de pH se ha mantenido constante ya que el promedio superficial para el año 2017 fue 7,23

(Oña y Tonato, 2017) y en el año 2018 es de un valor promedio de pH de 7,48. Por lo tanto, se deduce que la laguna Huarmicocha presenta un pH ligeramente básico o alcalino (Palau y Caputo, 2013), característica principal de los lagos tropicales de alta montaña.

b) Saturación (%) y oxígeno disuelto (OD)

De acuerdo con los resultados obtenidos, los valores máximos de oxígeno disuelto (OD) indican 6,23 mg/l con un 58,58 % de saturación a una profundidad superficial de cero (0) m, los 5,91 mg/l con una saturación de 55,08% se localizan en la profundidad de 3 m, entre las profundidades 1 y 2 m se obtuvo valores semejantes de 5,61 mg/l y 5,63 mg/l con una saturación de 52,45 y 52,57 % respectivamente (Figura 7). Mientras tanto, en la profundidad de 4 m se tiene valores mínimos de OD 3,80 mg/l que representa una saturación de 35,33%, estos valores expresan que la cantidad de oxígeno disuelto en agua es muy baja y que el aumento de temperatura incide en la disminución de este valor (Roldán y Ramírez, 2008; Quiroz et al, 2004).

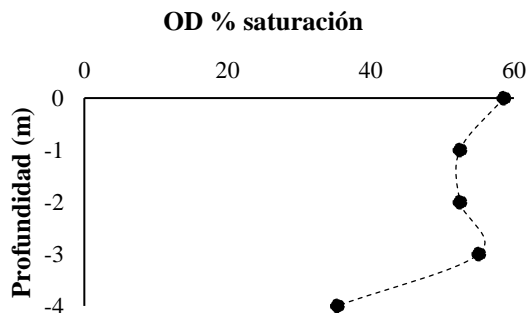


Figura 7, Relación profundidad vs Oxígeno disuelto % saturación

El oxígeno disuelto fluctuó entre 7,61 mg/l a 5,44 mg/l durante el periodo de un año (Oña y Tonato, 2017), es decir presento una disminución de 2,17 mg/l. La disminución fue notoria en el monitoreo realizado en enero del año 2018, estos cambios se deben a que la temperatura fue menor por el movimiento de la superficie (presencia de viento) (Andrade, 2016). Al comparar los resultados con los rangos establecidos en la Guía para la utilización de las valijas viajeras Red de Monitoreo ambiental participativo de sistemas acuáticos indican que las condiciones son aceptables debido a que presentan valores de 5 a 8 mg/l, por lo tanto, se puede dar un desarrollo normal de la

vida acuática (Goyenola, 2007). La producción de oxígeno está relacionada con la fotosíntesis, mientras que el consumo dependerá de la respiración y descomposición de sustancias orgánicas principalmente (Forsberg, 2013). El nivel de OD es un indicador que determina la contaminación del agua y si dentro de ella se puede generar vida animal o vegetal (Peña, 2007; Quiroz, et al., 2004; Moya y Ramon, 1984). Se deduce que el agua de la laguna Huarmicocha presenta oxígeno disuelto óptimo para el crecimiento de vida acuática, ya que se encuentra entre los rangos establecidos por Goyenola, (2007).

c) Temperatura

La temperatura de la laguna Huarmicocha a los cero (0) m de profundidad presenta un valor de 9,09 °C, la profundidad a 1 m fue de 8,89 °C, en la profundidad de 2 m fue de 8,8 °C, en cuanto a la profundidad de 3 m se obtuvo 8,75 °C y finalmente a los 4 m de profundidad fue de 8,74 °C, lo que se evidencia poca variabilidad de los valores de acuerdo a la columna de agua muestreada (Figura 8). Estos resultados se encuentran relacionados con la altitud a la que se ubica la laguna Huarmicocha (3.740 msnm), al encontrarse a mayor altitud presenta una temperatura baja; esta influye en el comportamiento de otros indicadores, como el pH, el déficit de oxígeno, la conductividad eléctrica y otras variables fisicoquímicas. Es necesario indicar que una característica de los lagos tropicales altoandinos es presentar temperaturas más o menos uniformes a lo largo del año (Oña y Tonato, 2017).

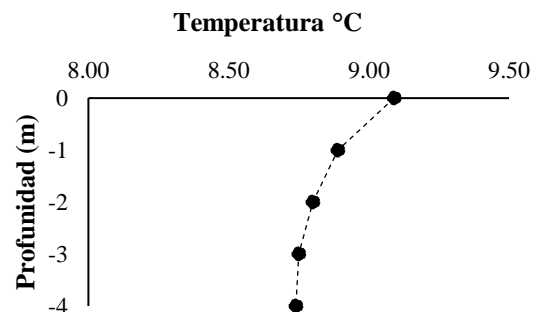


Figura 8. Relación profundidad vs temperatura

d) Conductividad

La Figura 9 muestra los valores de conductividad en un rango de profundidad de cero (0) m hasta 4

m, donde a una profundidad de cero (0) m se obtuvo un resultado de 49,81  $\mu\text{S/cm}$ , a una profundidad de 1 m fue de 64,49  $\mu\text{S/cm}$ , a los 2 m de profundidad se obtuvo 65,87  $\mu\text{S/cm}$ , en la profundidad de 3 m 63,79  $\mu\text{S/cm}$  y por último 81,68  $\mu\text{S/cm}$  a los 4 m de profundidad, que son valores inferiores a  $<280 \mu\text{S/cm}$ , es decir que los resultados bajos de conductividad son una característica de los lagos tropicales oligotróficos de altas montañas (Roldán y Ramírez, 2008; Massol, 2010; Posada, Roldan-Pérez y Ramírez, 2000).

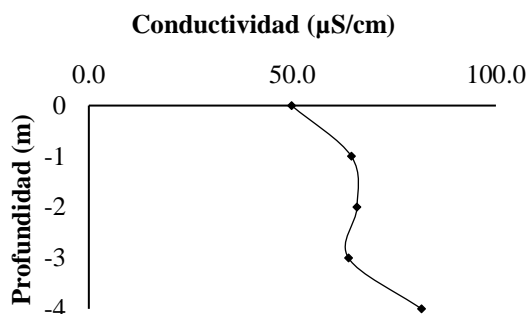


Figura 9. Relación profundidad vs conductividad

La conductividad presenta un valor promedio de 65,13  $\mu\text{S/cm}$  comparando este dato con los límites establecidos se considera que el agua presente en las lagunas es pura al tener valores inferiores a  $<280 \mu\text{S/cm}$ ; los resultados bajos de conductividad son una característica de los lagos tropicales oligotróficos de altas montañas (Roldán y Ramírez, 2008); (Massol, 2010). Por otra parte, los datos obtenidos por Oña y Tonato, (2017) el valor de conductividad de la laguna Huarmicocha fue de 36,73  $\mu\text{S/cm}$ , la variación existente durante el periodo 2017- 2018 se debe a la baja cantidad de iones disueltos en el agua.

#### e) Turbidez

Este estudio muestra un valor promedio de transparencia de 2,50 m, datos obtenidos mediante el disco secchi, el cual brinda información en cuanto a los sólidos disueltos en los sistemas acuáticos, los lagos oligotróficos poseen por lo general transparencias altas, Para definir el estado trófico de un cuerpo de agua lenticó a partir de la transparencia se indica que la laguna Huarmicocha es oligotrófica y está dentro del rango establecido  $\geq 1,60$  m (Roldan y Ramirez, 2008).

#### f) Presión barométrica

El promedio de la presión barométrica fue de 702 mmHg en toda la columna de agua, este valor

esta dado en función de la altitud, latitud y longitud del área de estudio, a mayor altitud menor presión barométrica. El registro se presentó en el punto más profundo en el punto cercano al bosque primario.

### Evaluación de la capacidad de almacenamiento hídrico de la laguna Huarmicocha en época seca y lluviosa

Para estimar la variabilidad de almacenamiento entre las épocas ecológicamente lluviosas y secas se recolectaron datos meteorológicos e hidrológicos entre los meses de enero a junio del 2018.

#### Condiciones climáticas

La obtención de las condiciones climáticas se basó en el análisis de los parámetros de precipitación y temperatura teniendo en cuenta la proximidad y la representatividad de las estaciones al área de estudio (Portilla, 2015).

Se realizó un diagrama ombrotérmico histórico de 18 años (1998-2015), con la base de datos de las estaciones Otavalo, Malchingui, Tomalón-Tabacundo y Mojanda, se determinó que la zona de estudio presenta un promedio anual de precipitación de 377 mm. La época ecológicamente lluviosa es bimodal, presentándose en los meses de marzo a mayo y de octubre a diciembre, siendo abril el mes con mayor precipitación (promedio de 55,81 mm).

Por otro parte, los meses de junio a agosto, pertenecen a la época ecológicamente seca, en donde la temperatura promedio anual es de 14,8  $^{\circ}\text{C}$ , siendo agosto el mes más seco con 6,66 mm de precipitación (Andrade, 2016). De acuerdo con la clasificación de climas del Ecuador, la zona de Mojanda se ubica a los 3.200 msnm, posee un clima ecuatorial mesotérmico semi-húmedo donde las temperaturas mínimas descienden rara vez a menos de 0  $^{\circ}\text{C}$  y las máximas no superan los 30  $^{\circ}\text{C}$  (Figura 10), lo cual es característico de la zona de Mojanda (Pourrut, Róvere, Romo y Villacés, 1995).

ESTRATEGIAS DE CONTROL Y CONSERVACIÓN EN RELACIÓN CON LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO HÍDRICO DE LA LAGUNA HUARMICOCHA, CANTÓN PEDRO MONCAYO

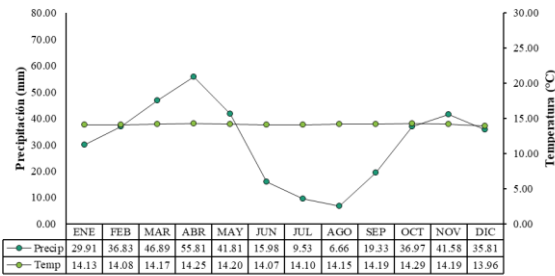


Figura 10. Diagrama ombrotérmico histórico de 18 años (1998-2015), Interpolación entre estaciones de Tomalón-Tabacundo, Malchingui, Otavalo y Mojanda Fuente: Base de datos hidrometeorológicos, INAMHI (2016)

De acuerdo con el diagrama ombrotérmico de la estación Mojanda determinó los meses secos: junio, julio y agosto, con precipitaciones que varían de 21,97 mm, 14,15 mm y 10,14 mm respectivamente, con una temperatura promedio de 12,42 °C, el mes con menor precipitación es el mes de agosto con 10,14 mm, Los meses restantes corresponden a los meses lluviosos con precipitaciones que varían de 40,89 mm a 57,56 mm con una temperatura promedio de 12,19 °C. El mes con mayor precipitación es abril con 75,35 mm. El promedio anual de precipitación en el área de Mojanda es de 518,86 mm (Figura 11). Según (Pourrut, Róvere, Romo y Villacés, 1995), en el área de Mojanda las precipitaciones fluctúan entre 500 y 2000 mm y están claramente diferenciadas en dos estaciones lluviosas, meses febrero a mayo y octubre y noviembre y los meses secos junio a septiembre.

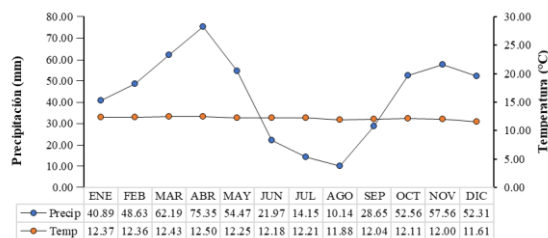


Figura 11. Diagrama ombrotérmico de la estación Mojanda periodo 1998-2015 Fuente: Datos de gabinete

*Determinación del nivel de agua de la laguna Huarmicocha a escala limnimétrica y maximétrica*

La implantación de un limnómetro en la cubeta lacustre permite determinar las variaciones del nivel del volumen del agua en el tiempo (Kennedy et al, 1992). A partir del mes de enero se realizó

la lectura del limnómetro, se obtuvo como valor inicial de 0,64 m. Durante los meses de enero, febrero, marzo y junio correspondiente a la época ecológicamente seca, las precipitaciones fueron menores existiendo una variación de 0,2 m y en los meses abril y mayo debido a precipitaciones mayores corresponde a la época ecológicamente lluviosa. Se determinó una variación de 0,5 a 0,6 m del valor inicial (Figura 12). La relación existente entre precipitación y escala limnimétrica muestra que en el mes de mayo hubo 148,06 mm de precipitación por lo que la escala limnimétrica registró un valor de 0,66 m/mes. Por otra parte, el mes de junio presento 10,12 mm de precipitación, el nivel registrado fue de 0,64 m/mes.

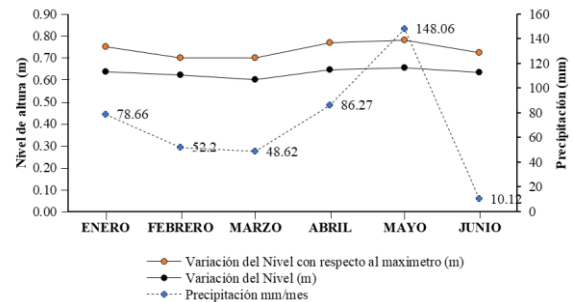


Figura 12. Variación de nivel máximo y escala limnimétrica vs precipitación

El valor inicial del maxímetro en el mes de enero fue 0,75 m/mes, llegando registrar 0,78 m/mes en los meses de abril y mayo (época ecológicamente lluviosa), es decir que el aumento representa al máximo nivel alcanzado en los meses de monitoreo, (Figura 13). Los valores analizados presentan una estrecha relación debido a que el limnómetro registra puntualmente el nivel de agua de la cubeta lacustre respecto a un nivel de referencia ya sea la época ecológicamente seca o lluviosa (INAMHI, 2010). Estos resultados son representativos para lagos tropicales altoandinos ya que se observa una concordancia en sus promedios mensuales entre el limnómetro y la precipitación (Revelo, 2017)

*Disponibilidad de agua en la cubeta lacustre Huarmicocha mediante la aplicación de la ecuación simplificada del balance hídrico*

Se generó información acerca de la disponibilidad del agua de la cubeta lacustre Huarmicocha mediante la ecuación simplificada del balance hídrico, según Lamb, Bates, Coombes y Marshall (2011) indican que, la ecuación simplificada se aplica para lagos endorreicos como en el caso de la laguna Huarmicocha.

## ESTRATEGIAS DE CONTROL Y CONSERVACIÓN EN RELACIÓN CON LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO HÍDRICO DE LA LAGUNA HUARMICOCHA, CANTÓN PEDRO MONCAYO

De acuerdo con los datos obtenidos se puede determinar que los meses de enero, febrero, marzo y junio representan la época seca por presentar menor precipitación. Las entradas aportan 15,42 l/s de precipitación y 15,37 l/s de caudal de ingreso, dando un total de 30,79 l/s. En cuanto a las salidas, la evaporación fue de 20,42 l/s y el caudal de salida fue 110,78 l/s, dando una salida total de 131,20 l/s. Estos resultados indican que las entradas son menores al volumen de pérdida o salida de agua que requiere la laguna para reestablecerse, siendo la variación de almacenamiento la diferencia entre entradas y salidas igual -100,41 l/s, que corresponden al déficit de volumen de almacenamiento de la laguna para la época ecológicamente seca (Figura 16).

Por otra parte, los meses de abril y mayo pertenecientes a la época lluviosa, aportan al sistema con 12,63 l/s de precipitación y un caudal de ingreso con 42,31 l/s dando un total de 54,94 l/s, mientras que, las variables correspondiente a las salidas muestran resultados de evaporación con 5,35 l/s y 253,13 l/s de caudal de salida dando un total de 258,48 l/s, lo que indica que las entradas hacia el sistema lacustre siguen siendo menores que las salidas aún en época de mayor precipitación. De esta manera, la variación de almacenamiento entre las entradas y salidas es de -203,54 l/s, que corresponden al déficit de volumen de almacenamiento de la laguna para la época ecológicamente lluviosa.

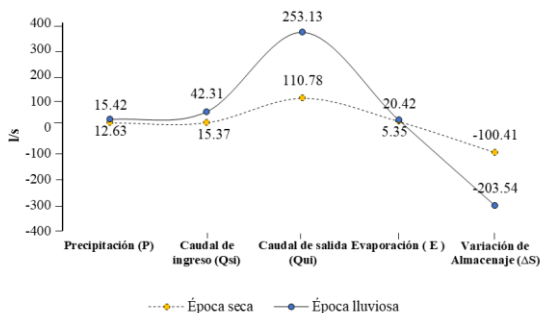


Figura 16. Variabilidad estacional de entradas y salidas

El déficit de agua en la laguna Huarmicocha se presenta a lo largo de todo el semestre tanto en época de lluvia como de estiaje, siendo el caudal de salida con 63,32% la variable más influyente en ambos periodos.

Smith y Romero (2009) establecen que los humedales urbanos (cercanos a las ciudades) están continuamente sujetos a disturbios

antrópicos como el aprovechamiento hídrico para consumo humano, uso agrícola o pecuario y uso recreacional provocando la contaminación, fragmentación del hábitat.

En este sentido, las actividades antrópicas son las principales causas de la modificación de cuerpos de agua generando alteración del ciclo hidrológico, variación en profundidad del agua y cambios en la estructura y composición de la vegetación (Kusch, Cárcamo y Gómez, 2008).

En la Figura 14, se muestra la relación entre las variables que intervienen en el balance hídrico, las cuales representan un balance semestral negativo de 303,96 l/s.

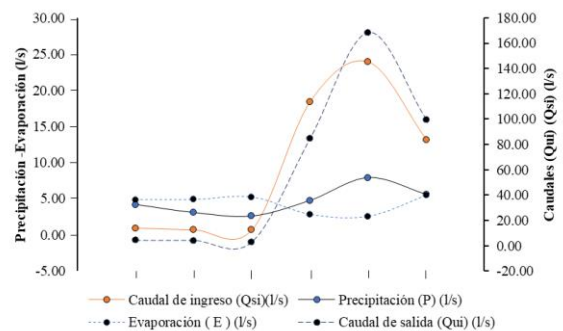


Figura 14. Variables del balance hídrico de la laguna Huarmicocha

La precipitación presentó variaciones en el mes de febrero y marzo donde se obtuvo un nivel bajo con 3,08 l/s y 2,59 l/s y el mes más alto en mayo con 7,88 l/s, lo que significa un aporte de 9,22% de cantidad de agua; en cuanto al caudal de ingreso se tiene un aporte de 0,66 l/s para ambos meses, mientras que en el mes de mayo se obtiene 23,91 l/s lo que indica un 18,98% de aporte al sistema lacustre.

La variable de evaporación representa 8,48% de salida del sistema, en los meses de abril y mayo presenta menor evaporación 2,81 y 2,54 l/s respectivamente siendo junio el mes con mayor evaporación 5,47 l/s. Las variables de evaporación y precipitación se ven influenciadas con la temperatura, donde, a mayor temperatura mayor evaporación y menor precipitación o viceversa, se puede diferenciar claramente las épocas de lluvia y sequía, en los lagos de Etiopía se obtienen resultados similares, existiendo niveles altos de evaporación en algunos meses del año y aumentos de temperatura debido al

impacto de las actividades antrópicas y al cambio climático (Wetzel, 1981; Casallas, 2002).

*Planteamiento de estrategias de conservación y control del recurso hídrico de la laguna Huarmicocha en base al modelo hidrológico obtenido*

Se recopiló y sistematizó toda la información obtenida en base a los “mapas parlantes” aplicado a los miembros de la Fundación Ambiental Urcu Camas y mediante el empleo de “El esquema cinco S: Sistemas (systems), presiones (Stresses), fuentes (sources), estrategias (estrategies) y Éxito (sucess)” propuesto por The Nature Conservancy se formuló la “Estrategia de control y conservación para la laguna Huarmicocha” (Rodríguez y Fuenmayor, 2012).

A continuación, se detallan las actividades a desarrollarse:

#### a) Protocolo de monitoreo hidrológico

Servirá como una herramienta para la recolección de datos y a largo plazo poder inferir sobre los cambios efectuados en este ecosistema acuático.

##### *Selección de sitios de monitoreo*

Se han identificado ocho puntos de monitoreo fuera de la laguna, siendo tres puntos de caudal de salida, dos permanentes y un estacionario, cuatro puntos de caudal de entrada, un permanente y tres estacionarios; y un punto de monitoreo dentro de la laguna (Tabla 3).

| PUNTOS | COORDENADAS |          | ALTURA<br>msnm |
|--------|-------------|----------|----------------|
|        | X           | Y        |                |
| PS1    | 805185      | 10014984 | 3740           |
| PS2    | 805167      | 10014986 | 3733           |
| PSE3   | 805187      | 10014961 | 3747           |
| PE1    | 805658      | 10013936 | 3768           |
| PEE2   | 805901      | 10014335 | 3540           |
| PEE3   | 805901      | 10014325 | 3542           |
| PEE4   | 805883      | 10014343 | 3752           |
| PPROF1 | 805736      | 10014184 | 3754           |

Tabla 3. Ubicación de puntos de monitoreo de la laguna Huarmicocha, WGS(\$, Zona 17S

#### *Medición de caudales entrantes y salientes*

Se estableció 7 puntos de muestreo de acuerdo con el referente de ubicación como bosque, canales de piscinas de truchas y vertientes naturales que se encuentran de forma permanente en el área (Figura 18). Los métodos a ser utilizados son: Método Volumétrico, flotador y Vertedero triangular y rectangular. El monitoreo hidrológico de caudales se debe realizar dos veces al mes con el objetivo de recopilar la mayor cantidad de información que permita realizar un análisis claro para la gestión, conservación y protección de la cubeta lacustre.

#### *Medición de precipitación*

Se debe considerar que la precipitación, evaporación y temperatura son variables meteorológicas que deben ser medidas en el área de estudio (Calles, 2015; Programa GLOBE, 2005; OMM, 2011). Por esta razón, se requiere la instalación de un pluviómetro sea este manual o totalizador.

#### b) Protocolo de muestreo de parámetros fisicoquímicos y biológicos

El protocolo corresponde a la obtención de datos morfométricos mediante una batimetría; y los parámetros fisicoquímicos y biológicos por medio de equipos de campo como Hidrolab HL4. Disco secchi, Ecosonda, Trampa Schidler Patalas, Navegador GPSGarmin 526S, entre otros. Todos los equipos a ser utilizados durante el monitoreo deben estar colocados y asegurados dentro del bote, considerando que no haya peligro de que se puedan caer al agua durante el monitoreo.

#### c) Restauración ecológica en factores de tensión antrópica

La restauración ecológica esta defina como la aplicación de técnicas y estrategias que permiten el restablecimiento parcial o total de estructura y función de los ecosistemas disturbados (Aguirre, Torres y Velasco, 2013; Vargas y Velasco, 2011). En base al análisis multitemporal de cobertura vegetal realizada por Andrade, (2016) y una revisión bibliográfica se establece el tipo de vegetación ideal para la conservación, siendo de tipo arbustiva (*Chuquiraga jusssieui*), (*Buddleja pichinchensis*), (*Hypericum laricifolium*), (*Monnina crassifolia*) y arbórea (*Polylepis sp*) debido a su fisiología y por estar presente en remanentes de bosque alrededor del sistema



lacustre Mojanda, que ayudan con la retención e infiltración del agua lluvia (Guerrero, 2012; Aguirre, Torres y Velasco, 2013).

#### *Propagación de plantas nativas*

Una vez seleccionadas las plantas indicadas para la restauración, es necesario la identificación de remanentes de bosque que pueden ser útiles para la recolección de semillas. La propagación se debe realizar en un vivero sea este comercial o comunal, tomando en consideración el tipo de reproducción de cada planta sea esta por semillas, estacas entre otras (Torres y Velasco, 2013).

#### *Cercas vivas*

Se plantea el cercado de la vía de acceso con plantas nativas como *Polylepis*, Chuquiragua, Romerillo para impedir el ingreso de turistas y arrastre de sedimentos evitando así el daño y deterioro de la laguna Huarmicocha.

#### *Aislamiento de sectores para regeneración natural*

Con la aplicación de esta estrategia se busca evitar la destrucción de la vegetación en el área a regenerar (Vargas y Velasco, 2011). El aislamiento de sectores consiste en construir cercas, empleando postes de madera, alambre de púa o cualquier otra barrera, evitando el ingreso a sitios destinados para la protección.

#### *Traslado de suelo y de "Tapetes de plantas"*

Mediante esta técnica se puede lograr recuperar 3,57 hectáreas de páramo. La cual permite promover la colonización de especies pioneras y mediante el enriquecimiento de nutrientes lograr que las especies facilitadoras ejerzan un efecto positivo sobre el crecimiento, supervivencia y desarrollo de otras especies, llegando a formar núcleos con fisonomía típica del páramo (Vargas y Velasco, 2011; Torres et al., 2011; Ávila et al., 2013, Torres et al., 2013).

#### *Monitoreo y evaluación del proceso de restauración*

Es necesario, realizar un seguimiento y evaluación en forma permanente del proceso de restauración, así se puede tomar decisiones que permitan hacer cambios en los procedimientos o estrategias que se están utilizando (Vargas y

Velasco, 2011). Además, de recopilar información necesaria para conocer detalladamente el desempeño que han tenido estas estrategias (Cabrera y Ramírez, 2014).

## **CONCLUSIONES**

El análisis de los parámetros fisicoquímicos de la cubeta lacustre Huarmicocha indica que el valor promedio pH de 7,48, OD de 5,44 mg/L, Temperatura de 8,85 °C, conductividad de 65,13  $\mu$ S/cm. Turbidez por disco secchi de 2,50, todos los parámetros se encuentra entre los rangos establecidos de manera que las condiciones que presenta son aceptables e indica que se puede dar un desarrollo normal de la vida acuática y se clasifica a la laguna como Oligotrófica característica principal de lagos de alta montaña.

De acuerdo con el diagrama ombrotérmico histórico de la estación Mojanda (promedio 18 años), la época ecológicamente lluviosa se da entre los meses de marzo a mayo y de octubre a diciembre, es decir tiene un comportamiento bimodal, siendo el mes de abril con mayor precipitación (75,35 mm). Los meses de junio a agosto pertenecen a la época ecológicamente seca, siendo agosto el mes con menor precipitación (10,4 mm). Sin embargo, durante el periodo de monitoreo se evidenció que los meses de enero a marzo y junio representaron a la época ecológicamente seca siendo marzo el mes con menor precipitación (48,62 mm), mientras tanto, los meses abril y mayo corresponden a la época ecológicamente lluviosa, siendo mayo el mes con mayor precipitación (148,06 mm), la variación estacional se debe a los cambios de los patrones meteorológicos.

El balance hídrico obtuvo un déficit en la variación de almacenamiento hídrico de -100,41 l/s en época seca y -203,54 l/s en época de lluvia. Por lo tanto, la laguna Huarmicocha no se encuentra en la capacidad de otorgar el caudal de 4,05 l/s a la junta de agua "Mushuk Kausay", debido que las condiciones ecológicas e hidrológicas de la cubeta lacustre se verían afectadas a largo plazo.

Los caudales de salida semestrales son mayores a la precipitación y caudales de entrada semestrales en los dos periodos estacionarios (época seca y lluviosa), lo que hace que el balance hídrico de la cubeta sea negativo (-303,96 L/s), por lo tanto, impide que la laguna Huarmicocha se estabilice.

La escasa disponibilidad de agua en la laguna Huarmicocha se relaciona directamente con la

presencia de la infraestructura piscícola antigua en la parte Noroeste (NO) del sistema lacustre, cuyos caudales concluyen a la laguna Caricocha. Por esta razón, es necesario efectuar acciones que permitan la gestión y manejo del recurso hídrico de la laguna, antes que exista problemas irreversibles en la disponibilidad de este recurso.

La estrategia de control y conservación planteada en esta investigación son prácticas, medibles y tienen como finalidad la recuperación de las condiciones hidrológicas de la laguna Huarmicocha. Además, de involucrar a las entidades competentes de las provincias de Pichincha e Imbabura para ejercer un manejo integral con enfoque de cuenca hidrográfica de los recursos naturales que posee en general el Sistema lacustre Mojanda.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, N., Torres, J., y Velasco, P. (2013). *Guía para la restauración ecológica en los páramos del Antisana*. FONAG, Quito.
- Andrade, L. y Moreano, R. (2013). Sistema de Información para la interpolación de datos de temperatura y de precipitación del Ecuador. *Revista Politécnica*, 32(1), 70-75.
- Andrade, E. (2016). Determinación del estado trófico del lago de Mojanda en relación con los parámetros físico-químicos. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Ávila, L., Castiblanco, O., Rojas, J., Torres, O. y Vargas. (2013). *Control de gramíneas* Hoffmann1, D., Tarquino, R., Corro, J., y Lavadenz1, L. (2014). Métodos para caracterizar la dinámica de los sistemas socioecológicos asociados a los bofedales altoandinos (Cordillera Real, Bolivia). *Ecología en Bolivia*, 49(3): 132-140.
- Instituto Nacional de Estadística y Censo, (2010). *Resultado de Censo 2010. Población y vivienda una historia para ver y sentir*. Ecuador. Autor.
- exóticas y reubicación de plantas para conformar núcleos de restauración ecológica en pastizales de páramo*. Bogotá, Colombia.
- Benjumea, H., Wils, A. y Aguirre, N. (2017). Principales aspectos morfométricos de la ciénaga de Cachimbero, Santander-Colombia. *Gestión y Ambiente*, 11(2), I-VIII.
- Bello, M. y Pino, M. (2000). *Medición de Presión y Caudal*. Punta Arenas, Chile: Centro Regional.
- Buitrago, N., y Barbosa, N. (2016). *Estimación del nivel freático del municipio de Paipa Boyacá, a partir de imágenes satelitales y datos de medición geoelectrónica, analizando la multitemporalidad de variaciones hidrológicas*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá: Colombia.
- Bustamante, R. O. (2006). *Manual Básico para Medir Caudales*. FONAG. Ecuador.
- Buytaert, W., Céleri, B., De Brièvre, F. y Cisneros, F. (2012). Hidrología del páramo andino: propiedades, importancia y vulnerabilidad. 2: 8-27.
- Calles, J. A. (2015). Manual participativo en sitios piloto del programa Socio Bosque- Capítulo Socio Páramo. Programa ProCamBio-GIZZ. Quito.Ecuador.
- Casallas, J. y Gunkel, G. (2002). Algunos aspectos limnológicos de un lago altoandino: el Lago San Pablo, Ecuador. *Limnética* 20(2).
- Cooke, D., Welch, E., Peterson, S., y Nichols, S. (2005). *Restoration and Management of Lakes and Reservoirs*, Third Edition. New York: Taylor & Francis Group.
- Contreras, F. y Paira, A. (2015). Comparación morfométrica entre lagunas de la planicie aluvial del río Paraná Medio y La Lomada Norte (Corrientes, Argentina). *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 24 (1), 6171.
- Fomerón, C., Piccolo, M. y Carbone, M. (2010). Análisis morfométrico de la laguna Sauce Grande (Argentina). *Huellas*, volumen (14), 11-30.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Pedro Moncayo. (2015). *Mojanda-Propuesta declaratoria de área Protegida municipal: Expediente Técnico*. Pedro Moncayo, Ecuador. Autor.
- Goyenola, G. (2017). Guía para la utilización de las Valijas Viajeras Red Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos. Santiago de Chile, Chile: RED MAPSA.
- Hoffmann1, D., Tarquino, R., Corro, J., y Lavadenz1, L. (2014). Métodos para caracterizar la dinámica de los sistemas socioecológicos asociados a los bofedales altoandinos (Cordillera Real, Bolivia). *Ecología en Bolivia*, 49(3): 132-140.
- Instituto Nacional de Estadística y Censo, (2010). *Resultado de Censo 2010. Población y vivienda una historia para ver y sentir*. Ecuador. Autor.

ESTRATEGIAS DE CONTROL Y CONSERVACIÓN EN RELACIÓN CON LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO  
HÍDRICO DE LA LAGUNA HUARMICOCHA, CANTÓN PEDRO MONCAYO

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2007). *Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento del agua*. IDEAM, Colombia.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2016). *Base Nacional de Datos Hidrometeorológicos*. INAMHI, Ecuador.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2007). *Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento del agua*. IDEAM, Colombia.
- Kennedy, A., Fragoza, F., Peña, E. y Moreno, E. (1992). *Manual de Aforos*. Mexico: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Kevede, Y., Travi, T., Alemayehu. y Marc. V. (2005). Water balance of lake Tana and its sensitivity to fluctuations in rainfall, Blue Nile basin, Ethiopia. Elsevier, Volumen (316), 1-4.
- Kusch, A., Cárcamo, J. y Gómez, H. (2008). Aves acuáticas en el humedal urbano de tres puentes, Punta Arenas (53° s), Chile Austral. *Anales del instituto de la Patagonia*, 36(2), 45-51.
- Lamb, Bates, Coombes y Marshall, (2011). *Water balance of lake Tana and its sensitivity to fluctuations in rainfall*. Ethiopia.
- Malek Gustavo. (1982). *Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur*. Montevideo, Argentina.
- Massol, A., (2010). "Parámetros Físico-químicos" en Curso ecología microbiana.
- Marbello, R. (2005). *Manual de prácticas de laboratorio de hidráulica*. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Medellín, Colombia.
- Mendoza, S. (2017). Plan de Manejo de uso público para las lagunas de Mojanda, parroquia Tabacundo, provincia de Pichincha. (Tesis de pregrado). Universidad Católica del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2009). Ecosistemas del Distrito Metropolitano de Quito DMQ. Quito: MAE.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2015). Humedales del Ecuador. Lagunas de Mojanda. Pedro Moncayo y Otavalo, Ecuador. Autor.
- Ministerio del ambiente de Colombia. (2001). Política Nacional para humedales interiores de Colombia: Estrategias para su conservación y uso racional. Bogotá, Colombia. Autor.
- Monsalve, G. (2009). *Hidrología en la Ingeniería*. 2a edición. Impreso en Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería. 382.
- Montoya, Y., Vélez, F. y Aguirre, N. (2014). Características morfométricas de un lago de plano inundable tropical (ciénaga Hoyo, Los Bagres, Colombia). Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, (59), 203-214.
- Moya, G. y Ramón, G. (1984). Evolución del contenido de oxígeno disuelto en las aguas de los embalses de la sierra de Tramuntana (Mallorca). Estudio comparado. Boll. Soco Hist. Nat. Balears. 28:81-94.
- Oña, J. y Tonato, C. (2017). Determinación del estado trófico de las lagunas de Mojanda a través de la cuantificación de clorofila "A": (Tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador.
- O'Sullivan, P. y Reynolds, C. (2005). *The Lakes Handbook: Lake Restoration and Rehabilitation, Volume 2*. Australia: Blackwell Publishing.
- Organización Meteorológica Mundial. (1994). *Guía de Prácticas Hidrológicas*. EEUU. Autor.
- Organización Meteorológica Mundial. (2011). *Guía de Prácticas Hidrológicas, Vol (1)*, EEUU. Autor.
- Palau, A. y Caputo, L. (2013). Caracterización limnológica de las masas de agua continentales de Huinay (X Región de los lagos, Chile). Chile: Edesa.
- Pereira, R. (2014). *Indicadores de línea de base: pautas para su elaboración*. Bolivia, La Paz: Programa de Investigación Estratégica.
- Poi, A. y Galassi, M. (2013). Humedales de los grandes esteros de la provincia de Corrientes. Inventario de los humedales de Argentina: sistemas de paisajes de humedales del corredor Fluvial Paraná, Paraguay. Proyecto GEF, 10(3) 223-232.
- Portilla, K. (2015). *Evaluación del comportamiento de los parámetros físicos del agua, para determinar el estado trófico del lago Yahuarcocha, Provincia Imbabura*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Pourrut, P., Róvere, O., Romo, I. y Villacés, H. (1995). *El agua en el Ecuador. Clima, precipitaciones, escorrentía*. Quito: Corporación Editora Nacional.
- Posada, G., Roldán-Pérez., G. y Ramírez, J. (2000). Caracterización fisicoquímica y biológica de la calidad de las aguas de la

ESTRATEGIAS DE CONTROL Y CONSERVACIÓN EN RELACIÓN CON LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO  
HÍDRICO DE LA LAGUNA HUARMICOCHA, CANTÓN PEDRO MONCAYO

- Cuenca de la Quebrada Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. *Rev. Biol. Trop*, 48 (1): 59-70.
- Programa GLOBE. (2015). *Un vistazo a la investigación de hidrología; Protocolo de hidrología*.
- Ramsar. (2009). Marco estratégico y lineamientos para el desarrollo futuro de la Lista de Humedales de Importancia Internacional de la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971). Irán. Autor.
- Revelo, J. (2017). *Evaluación del Balance Hídrico y establecimiento de estrategias para la conservación del recurso hídrico del Lago Yahuarcocha*. (Trabajo de pregrado). Universidad Técnica del Norte. Ibarra. Ecuador.
- Rivera, R., Zapata, A. y Donato, R. (2010). Estudio Morfométrico del Lago Guatavita (Colombia). *Acta Biológica Colombiana*, 15 (3), 131-144.
- Rocha, A. (2015). *Fórmulas de Vertederos*. Manual de la Construcción- Agenda.
- Rodríguez, J., y Fuenmayor, Q. (2012). Proyecto de Gestión Integrada de Ecosistemas en la Cuenca Binacional del Río Sixaola. Costa Rica: The Nature Conservancy.
- Roldan, G. y Ramírez, J. (2008). Fundamentos de limnología neotropical. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia.
- Ruiz, S. (2015). Manejo adaptativo de riesgos y vulnerabilidad en la zona lacustre de Mojanda. Pedro Moncayo, Quito: GADPP.
- Santos, J. (2014). *Aplicación de Método de Interpolación Para el Cálculo de Precipitación por Modelamiento Geoestadístico y Análisis Espacial Para el Departamento de Cundinamarca*. Universidad Militar Nueva Granada.
- Solano, E., Páez, C. y Aguilar, J. (2016). Sistema de Información Geográfica Batimétrico (SIGB) como herramienta para elaboración del ordenamiento territorial en el municipio de Gachalá Cundinamarca. (Tesis de pregrado).
- Smith, P. y Romero, H. (2009). Efectos del crecimiento urbano del Área Metropolitana de Concepción sobre los humedales de Rocuant-Andalién, Los Batros y Lengua. *Revista de geografía Norte Grande*, (43), 81-93.
- Strahler, A. (1964) Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. *Handbook of Applied Hydrology*. Section 4 - I, p. 39-76.
- Tibaná, B. (2017). *Análisis de la percepción y uso del páramo el tablazo por la comunidad de la vereda pantano de arce y su relación con las estrategias del desarrollo sostenible contempladas en el Eot de Subachoque, Cundinamarca*. (Tesis de pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia.
- Tocagón, R., Rivadeneira, J., Chiles, A., Puetate, K., Falconí, O. y Cando, K. (2012). *Buenas prácticas para la gestión de los páramos de Venezuela, Colombia, Ecuador y Perú: Inclusión del enfoque ambiental en los reglamentos comunitarios indígenas para los páramos de Mojanda: Una Experiencia de incidencia política del Proyecto Páramo Andino*. Quito. CONDESAN.
- Torrecilla, R. C., Domínguez, M. J., & Jiménez, A. M. (2010). Interpolación Espacial y Visualización Cartográfica Para el Análisis de la Justicia Ambiental: Ensayo Metodológico Sobre la Contaminación por Partículas Atmosféricas en Madrid. *Tecnologías de la Información Geográficas: la información Geográfica al Servicio de los Ciudadanos*, 691 - 699.
- Torres, J., Gómez, O., Rojas, C., Cardenas, O. y Vargas. (2011). *Estrategias para la restauración ecológica en áreas afectadas por pastoreo (Parque Nacional Natural Chingaza, Colombia)*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Torres, J., Gómez, O., Rojas, C., Cardenas, O. y Vargas. (2013). *Estrategias para la restauración ecológica en áreas de páramo transformadas por ganadería: bases para la restauración ecológica, Colombia*. Universidad Nacional de. Bogotá, Colombia.
- Vargas, O., y Velasco, P. (2011). Reviviendo Nuestro Páramos: Restauración Ecológica de Páramos. Proyecto Páramo Andino.
- Vargas, J., y Mandones, M. (2007). El patrón hidrográfico de la cuenca del Río Blanco: control tectónico y geomorfológico. *Revista de Geografía Norte Grande*. (38), 79-98.
- Wetzel, R. (1981). *Limnología*. España. Ediciones Omega, S.A.
- World Wildlife Fund. (2005). Los Humedales Altoandinos. Ecosistemas estratégicos y frágiles que ofrecen servicios ambientales para el bienestar de millones de personas. Costa Rica. Autor.