

Caracterización fisicoquímica de las aguas de la laguna de Mapaguña, provincia de Chimborazo.

Erika Murgueitio

Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente, Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Sangolquí, Ecuador
esmurgueitio@espe.edu.ec

Eduardo Kirby Powney.

Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente, Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Sangolquí, Ecuador
epkirby@espe.edu.ec

Marcelo Ortega

Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente, Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Sangolquí, Ecuador
marastro555@hotmail.com

RESUMEN: La laguna de Mapaguña se encuentra situada en el Cantón Alausí, Provincia Chimborazo, ubicada en las coordenadas 747700m E; 9743800m N, a una altura promedio de 3878 m.s.n.m. La laguna en estudio pertenece al ecosistema de páramo, el cual es una de las principales fuentes de agua para la comunidad aledaña de Achupallas. El objetivo del estudio es realizar la caracterización físico-química de las aguas de la laguna de Mapaguña, determinar su índice de calidad de agua (ICA) y analizar las condiciones para preservarla, evitando así su posible contaminación y degradación a futuro. Se elaboraron mapas georeferenciados de la laguna que proporcionan información valiosa sobre los puntos en los cuales se encuentran las diferentes concentraciones. La metodología utilizada para este estudio consistió en realizar tres campañas para la toma de muestras de agua tanto en época de lluvia como en época de sequía, en la superficie de la laguna y a diferentes profundidades. Para el geoposicionamiento de los puntos de toma de muestras, con una precisión aproximada de $\pm 1,5$ m, se arrastró una nueva base GNSS/GPS desde Riobamba y Alausí hacia la laguna, en cada toma se utilizaron simultáneamente equipos de dos y de una frecuencia. Se analizaron parámetros “in situ” y en laboratorio siguiendo los procedimientos del Estándar Métodos, para la determinación del ICA. El ICA obtenido fue de 80,72 que indica que es de buena calidad para el consumo humano, la pesca y la agricultura.

ABSTRACT: Mapaguña Lake is located in Alausi Canton, Chimborazo Province. It has the following coordinates 747700 m E; 9743800 m N, at an average altitude of 3878 m.a.s.l. The lake in study belongs at the paramo ecosystem, which is a major source of water for the nearby community of Achupallas. The objective of this study is to perform the physical-chemical characterization of Mapaguña Lake’s waters, to determinate water quality index (WQI) and to analyze the conditions for preserving it, avoiding possible pollution and degradation in the future. It was developed georeferenced maps of the lake which provided valuable information on the points which have different concentrations. The methodology used for this study consisted on performing three field works for taking water samples in both rainy and dry season, on the lake surface and at different depths. For geopositioning of the sampling points, with an approximate accuracy of $\pm 1,5$ m., a new base GNSS/GPS was dragged from Riobamba and Alausí to the lake, at each sampling was used equipment of two and one frequency simultaneously. Parameters were analyzed “in situ” and in laboratory, following the procedure of Standard Methods, for determining the WQI. The WQI obtained was 80,72 which indicates that it is a good quality for human consumption, fishing and agriculture.

Palabras clave: laguna, agua, calidad, muestreo, profundidad

1. Introducción

El Plan Nacional del Buen Vivir - Ecuador periodo 2013-2017, indica que “es necesario que el desarrollo urbano y rural considere criterios, normas y metas de calidad y conservación de los recursos naturales y patrimoniales”. En este contexto, los estudios sobre propiedades físicas, químicas y bacteriológicas del agua y el buen uso de la misma deben ser realizados en forma periódica para garantizar la calidad de este recurso, que imprescindible para la vida. Con respecto a estudios de aguas en las cuencas hidrográficas, la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH) ha emprendido proyectos de ámbito geográfico y ambiental y en conjunto con la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, con el principal interés de conservar y potenciar los recursos naturales estratégicos que posee la provincia. El Centro de Estudios y Acción Social (CEAS) realizó proyectos de Agua en el Cantón Alausí en enero de 1998, proyecto denominado: “Agua para beber los pobres”, pero no se consideró a la Laguna de Mapaguiña, de ahí el interés de la investigación. (CEAS, 2004). El estudio de la calidad de agua (ICA) aporta información acerca de los atributos del agua sin recurrir a recopilaciones estadísticas de las tendencias y simplifican en un solo valor, toda la información acerca de la calidad del agua. Por este motivo resulta accesible para las autoridades políticas y el público en general debido a la facilidad del manejo de la información. También existen índices de calidad de agua (ICA) construidos en base a parámetros fisicoquímicos, los cuales varían según la naturaleza del cuerpo de agua, el posible uso del agua, las condiciones climáticas y geológicas de la región y el criterio de expertos.(Castillo & Rodríguez, 2008).

2 Área de estudio

La laguna de Mapaguiña se encuentra ubicada entre los paralelos 2°18'59" y 2°19'9" de latitud sur y entre los meridianos 78°46'21" y 78°46'12" de longitud occidental., a una altura promedio de 3878 msnm.(ver Fig.1), pertenece a la Provincia de Chimborazo, Cantón Alausí, Parroquia de Achupallas, ubicada en la parte central del callejón interandino (Curicama, 2009-2014). La laguna en estudio se encuentra en el ecosistema de páramo, y según Arcos, (2010) esta es la principal fuente de agua para la comunidad. Debido a que tiene características climáticas especiales, suelos volcánicos poco profundos y porosos y con alto contenido de materia orgánica, y la topografía formada por la acción de los glaciares, la hidrología superficial del páramo tiene características extraordinarias. En la actualidad el páramo es utilizado mayormente para el pastoreo intensivo de ganado, cultivo de papas y fréjoles y plantaciones de pinos. El páramo es de origen glacial con una variedad de lagunas, pantanos y praderas húmedas. Debido a que existe una baja población en la zona, el agua es de muy buena calidad, la hidrología es muy poco entendida y los datos meteorológicos e hidrológicos son casi inexistentes y la literatura científica es muy escasa. En la actualidad no han existido mayores inconvenientes debido a la abundancia de páramos cercanos a las ciudades, pero en el futuro los problemas se podrían generar debido al aumento de la población, y por lo tanto el auge de las actividades agrícolas de la zona.

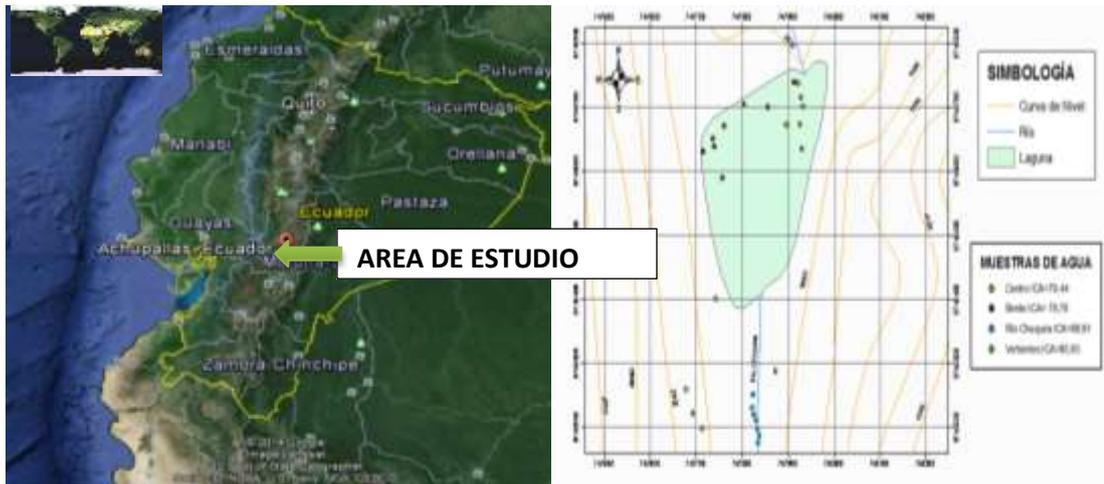


Fig.1 Área de estudio laguna de Mapaguña.

3. Muestreo y procedimientos analíticos

3.1 Muestreo

La toma de muestras se realizó en tres campañas, en época de sequía y en lluvia. Las muestras de agua en la laguna, fueron tomadas en la superficie y a diferentes profundidades, en el río Chúquirá que alimenta a la laguna, en la salida, en las vertientes. Las investigaciones del campo incluyeron, el geoposicionamiento de los sitios de muestreo y las medidas de los parámetros de campo como pH, temperatura, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica. Las muestras se preservaron de acuerdo, a los parámetros a analizar y fueron transportadas en cadena de frío a 4°C en un enfriador, al laboratorio de medio ambiente de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE para determinación de alcalinidad, sulfatos, fosfatos, nitratos, nitritos, turbidez y color.

3.2 Análisis Químico

Los equipos utilizados para el análisis de los parámetros físico-químicos son espectrofotómetro marca HACH, modelo DR/2010; muestreador de agua vertical Kemmerer BTL 1,2 L SS y bote a remos. Los métodos utilizados para la determinación de los parámetros físico-químicos en las muestras de agua, se resumen en la Tabla 1:

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos Fuente Estándar Métodos. APHA-AWWA

Parámetro	Método
pH	Método Potenciométrico - SM 4500 H
Conductividad	Método Potenciométrico - SM 2510 A
Oxígeno Disuelto	Método Potenciométrico - SM 4500 O
Alcalinidad	Método Potenciométrico - SM 2320 B
Nitritos	Método Espectrofotométrico - SM 4500 NO ₂ - B
Nitratos	Método Colorimétrico - SM 4500 NO ₃ - B
Sulfatos	Método Turbidimétrico - SM 4500 SO ₄
Fosfatos	Método del Ácido Ascórbico - SM 4500 P - E
Turbidez	Método Nefelométrico - SM 2130 B
Color	Método Espectrofotométrico 2120 C

3.3 Geoprociamiento de datos

Para la georeferenciación de las muestras, en función de la precisión de $\pm 1.5\text{m}$ requerida y del tiempo de muestreo de aproximadamente 10 minutos, primeramente se decidió arrastrar una nueva base junto a la laguna, empotrando una placa sobre una de las rocas y para su materialización se utilizó un equipo de doble frecuencia (Trimble 5800) con el método estático; para cada toma en los diferentes sitios de la laguna, se colocaron simultáneamente un equipo diferencial (Trimble 5800) en la nueva base (encendido todo el tiempo) y un móvil, también con el método estático, de una sola frecuencia (Mobile Mapper); para el perímetro de la laguna se siguió el mismo procedimiento de toma simultánea, con la diferencia del método de posicionamiento y del equipo, es decir, se implementó el método continuo y un equipo modelo Trimble R3. Las coordenadas de las muestras, fueron corregidas a través de un procedimiento llamado postproceso y se enlazaron en una tabla final con los parámetros físico – químicos calculados, a la cual se le llamó “Elenco de Coordenadas”.

4. Resultados

4.1 Elenco de coordenadas y parámetros de la Primera Campaña

Se tomaron los datos con el GPS (Mobile Mapper) en los límites y a 2 metros del borde de la laguna, cuyo elenco de coordenadas se presenta en la Tabla No.4

Tabla 4. Elenco de coordenadas de la Primera Campaña (23/feb/2013)

Punto	Lugar	Este	Norte	Altura Ortométrica	T (°C) Ambiente	T (°C) Agua	pH	Conductivi- dad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Alcalinidad (mg CaCO_3/L) (HCO_3^-)
P01	Borde	747739,060	9743649,201	3849,999	16	13,9	8,08	58,01	17
P02	Borde	747741,266	9743637,251	3850,213	19	18,7	8,74	56,50	19
P03	Borde	747751,369	9743610,032	3851,118	19	17,0	8,32	56,30	18
P04	Borde	747747,101	9743598,121	3852,884	19	19,6	8,32	57,40	22
P05	Ojo de Agua	747713,339	9743629,857	3857,722	19	15,3	8,01	52,30	15
P06	Borde	747761,753	9743666,544	3852,582	19	20,8	8,76	55,10	18
P07	Borde	747805,013	9743700,992	3851,042	19	19,8	8,73	54,10	15
P08	Borde	747859,278	9743699,689	3849,485	19	18,2	7,09	58,50	19
P09	Borde	747916,278	9743738,934	3853,913	19	15,6	8,96	61,00	19

4.2 Elenco de coordenadas y parámetros en la Segunda Campaña

Las coordenadas de los puntos tomados en los bordes de la laguna con el GPS Mobile Mapper se pueden observar en la Tabla No. 5

Tabla 5. Elenco de coordenadas de los bordes de la Segunda Campaña

Parámetro	LB1	LB2	LB3	LB4
Este	747734,100	747804,700	747888,200	747795,400
Norte	9743651,300	9743669,200	9743713,800	9743706,500
Altura Ortométrica	3849,590	3845,580	3849,570	3850,570
pH	8,36	8,65	6,63	7,64
Temperatura °C	18,1	18,5	17,9	18,1
Alcalinidad mgCaCO ₃ /l	3,5	2	1,5	6,5
Conductividad µS/cm	65,6	99,2	93	106,4
Sólidos Suspendedos mg/l	14	35	64	15
Oxígeno Disuelto mg/l	6,8	6,8	6,1	8
Nitratos mg/l	0,2	ND	0,3	0,4
Nitritos mg/l	0,007	0,01	0,009	0,005
Fosfatos mg/l	0,11	0,98	0,86	1,94
Sulfatos mg/l	5	7	7	4
Color PtCo.	54	50	79	40
Turbidez UNT	21	58	90	23

En la Tabla 6 se muestran las coordenadas de los puntos de muestreo y sus profundidades, tomadas en el centro de la laguna de Mapaguña con el GPS Mobile Mapper

Tabla 6. Coordenadas de los puntos del centro de la laguna de Mapaguña de la segunda campaña (17/may/2013)

Punto	Este (m)	Norte (m)	P (m)	P (m)	P (m)	H
C1	747935,714	9743695,223	1,32	--	--	3870,603
C2	747926,510	9743628,361	1,32	6,60	10,56	3870,895
C3	747888,000	9743619,700	1,32	5,28	11,38	3855,570
C4	747893,500	9743599,500	1,32	5,28	12,04	3849,570
C5	747848,900	9743514,700	1,32	5,28	11,38	3848,580
C6	747800,700	9743525,900	1,32	1,98	7,26	3849,580
C7	747800,900	9743618,000	1,32	6,60	14,52	3850,580

Nota: Pm= profundidad en metros; H= Altura Ortométrica

4.3 Tercera Campaña

En el programa ArcGIS se determinó que el área aproximada de la laguna es de 40.801,812 m² (4,08 ha) y un perímetro aproximado de 963,404 m.

4.3.1 Mapas de los parámetros físico-químicos

Se elaboraron mapas de cada uno de los parámetros físico-químicos; para lo cual se interpolaron las muestras de cada una de las variables aplicando el método de Kriging en un programa de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Posteriormente, con los datos obtenidos de cada parámetro se hizo una simulación en 3D, en ArcScene del Software ArcGIS. En la Figura 2 se observa el ejemplo del modelo de la “Conductividad”.

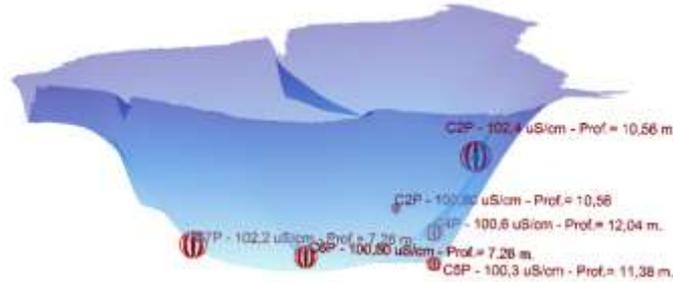


Figura 2. Modelo de conductividad

Para el cálculo del ICA se empleó el protocolo Rizzardo (2012), el cual se lo obtiene utilizando 9 parámetros como mínimo, dando a cada uno de estos valores su peso o importancia, aplicando la ec.1. Se calcula el índice de calidad de agua de cada parámetro, en unidades de concentración; para posteriormente, con ponderación de todos los parámetros, obtener el ICA de cada punto de muestreo, ver Tabla 2.

Ecuación del Índice de Calidad de Agua (ICA)

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n I_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Ec. (1)

Dónde:

ICA= Índice de Calidad de Agua global
I_i= Índice de Calidad para el parámetro i

W_i= Coeficiente de ponderación del parámetro i
N= Número total de parámetros

En caso de que no exista un dato, se considerará un coeficiente de ponderación nulo para el parámetro al que corresponda en la evaluación del ICA

Tabla 2. Ponderación de cada uno de los parámetros fisicoquímicos

Parámetro	Importancia
pH	1,0
Color	1,0
Turbiedad	0,5
Sólidos Suspendidos	1,0
Conductividad Eléctrica	2,0
Alcalinidad	1,0
Nitrógeno de Nitratos	2,0
Fosfatos totales	2,0
Oxígeno Disuelto	5,0

Fuente: (Reolón., 2010).

4.4 Índice de Calidad del Agua (ICA) general

El promedio del ICA para las muestras tomadas en los bordes, las vertientes, el centro de la laguna y el río Chúquira, se observa en la Tabla No.3

Tabla No.3 Resultados del ICA de cada parámetro fisicoquímico

Parámetro / I	Bordes	Vertientes	Río Chúquira	Centro	Promedio
pH	84,87	100	100	83,17	92,01
Color	37,56	42,68	42,84	40,72	40,95
Turbidez	--*	--*	--*	--*	--*
Sólidos Suspendidos	73,51	205,05	167,95	78,28	131,2
Conductividad	97,68	92,68	92,01	94,9	94,32
Alcalinidad	83,74	70,4	73,69	64,62	73,11
Nitratos	100	100	100	100	100
Fosfatos Totales	34,66	53,4	83,71	46,64	54,6
Oxígeno Disuelto	72,05	78,4	82,17	67,91	75,13
ICA	73,64	86,82	89,78	72,63	

Con los resultados de los parámetros físico-químicos de cada parámetro se determinó el promedio ICA de la laguna, obteniéndose el valor de 80.72, que indica una buena calidad. Además, el valor más alto ICA se produjo en el río Chúquira, siendo de 89.78, mientras que el valor más bajo se produce en el centro de la misma, reportándose 72,63.

5. Conclusiones

- Es de vital importancia determinar el índice de calidad de agua, el cual en el caso de esta laguna es de 80,72 puntos, este valor indica el grado de contaminación del agua para sus diferentes usos, como son: abastecimiento público, recreación general, pesca, vida acuática, agricultura y navegación, y para este caso corresponde a la categoría “Buena”.
- Con la finalidad de alcanzar las precisiones de ± 1.5 m. se debe tomar los puntos GPS por un tiempo aproximado de 10 minutos en cualquier laguna de estudio, y posteriormente se debe arrastrar una nueva base cercana a la laguna y tomar al mismo tiempo las muestras con equipos diferenciales, ya sea de doble o una frecuencia.
- Como resultados de los estadísticos en las muestras georeferenciadas, se obtuvieron como media en precisión horizontal ± 71.5 cm y en vertical 62.5 cm.
- El área y perímetro resultante de la medición en época seca realizada en el mes de octubre de 2013 fue de 4,08 ha y un perímetro aproximado de 963,404 m.
- Para la generación de los mapas de cada uno de los parámetros físico-químicos, el método de interpolación Kriging dio mejores resultados que el IDW, ya que es el mejor estimador

lineal imparcial, y con la finalidad de obtener una mejor precisión utiliza estadísticos como el semivariograma, los errores de predicción, y el tipo de modelo principalmente.

- El parámetro que tiene mayor incidencia en el valor ICA es el oxígeno disuelto, debido a que tiene una importancia de 5 puntos, mientras que la conductividad se encuentran entre 80 y 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo cual indica que la laguna es medianamente ionizada.
- Las especies de vegetación recolectadas en campo fueron: *Polylepis*, que tiene la función de captación de agua de los páramos y se utiliza para proyectos de reforestación; el género *Gynoxys* (Asteraceae), el cual es un indicador de buen estado de salud del páramo; la chilca, que principalmente se utiliza como regeneradora de sitios quemados.

6. REFERENCIAS

Arcos, M. (2010). *Influencia de la cobertura vegetal en la capacidad de infiltración de agua en suelos de páramo Quito, Ecuador: Universidad San Francisco de Quito*. Obtenido de <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/1070/1/99554.pdf>

APHA. (1992). *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association. Washington D.C.: 18th Edition.

Castillo, A., & Rodríguez, A. (2008). *Índice físicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación*. Costa Rica: *Revista de Biología Tropical*. Pg. 1906. Obtenido de http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_artte

CEAS. (2004). *Centro de Estudios y Acción Social - Agua para beber los pobres*. Obtenido de <http://www.chevara.watl.de/d/ceas/>

Curicama, M. (2009-2014.). *Plan Estratégico de Gobierno – Segunda Minga por Chimborazo*. Obtenido de: <http://www.chimborazo.gob.ec/chimborazo/images/stories/doc2014/lotaip/Plan%20de%20Gobierno%20SEGUNDA%20MINGA.pdf>

Plan Nacional del Buen Vivir . (2009-2013). *Agua y Saneamiento*. Obtenido de <http://plan.senplades.gob.ec/agua-y-saneamiento>

Reolón., L. (2010). *Programa de Formación Iberoamericano en materia de aguas – Dirección Nacional de Medio Ambiente – DINAMA – Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente – Buenos Aires – Argentina*. Obtenido de • Reolón, L. (2010). Programa de Formación Iberoamericano en materia de aguas – Dirección Nacional de Medio Ambiente – DINAMA – Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente – Buenos Aires – Argentina Recuperado de: <http://www.pnuma.org>

Rizzardo, J. (2012). *Cómo calcular el Índice de Calidad del Agua en una zona*. Obtenido de http://www.ehowenespanol.com/calcular-indice-calidad-del-agua-zona-como_241081/