





ESTRUCTURA TÉRMICA DEL LAGO GUAMUÉS, UN LAGO TROPICAL DE ALTA MONTAÑA

Mery-Liliana López-Martínez ¹
Gonzalo-Alberto Jurado-Rosero ²
Iván-David Páez- Montero ³
Sandra-Milena Madroñero-Palacios ⁴

Recibido el 24 de marzo de 2015, aprobado el 10 de mayo de 2016 y actualizado el 13 de diciembre de 2016

DOI: 10.17151/luaz.2017.44.7

RESUMEN

El presente artículo da a conocer los resultados obtenidos de una investigación desarrollada en el Lago Guamués, la finalidad fue establecer la estructura térmica a escala temporal, para lo cual se llevaron a cabo muestreos en los meses de enero a septiembre de 2013, en 10 puntos que abarcan la totalidad de ambientes presentes en el Lago.

Para alcanzar el objetivo planteado se realizaron mediciones *in situ* de los parámetros de temperatura del agua, oxígeno disuelto y profundidad, mediante la utilización una sonda paramétrica de calidad de agua YSI 6600 V2. Se construyeron los perfiles de temperatura y oxígeno disuelto en la columna de agua y se analizó el comportamiento de la estructura térmica del lago Guamués.

Entre los principales resultados obtenidos se encontró que el lago presenta periodos de mezcla completa en julio y septiembre y se encuentra estratificado en mayo, situación que se relaciona directamente con la estacionalidad, es decir, que en las épocas de lluvia favorece la mezcla completa y en épocas de verano se presenta la estratificación térmica del lago, situación que permitió clasificarlo como un lago monomítico cálido.

Finalmente, se resalta la importancia de este estudio en razón que la zona de estudio reviste de características especiales y particulares que han permitido categorizarlo como un ecosistema RAMSAR, dado todo el potencial ecosistémico manifestado en su biodiversidad, bienes y servicios ambientales brindados a la población. No obstante, los estudios existentes sobre la dinámica de la estructura térmica son inexistentes en la región y escasos en sistemas de Colombia, principalmente en lagos de alta montaña, ya que la gran mayoría de estudios se han desarrollado en lagos templados y embalses tropicales.

PALABRAS CLAVE: estratificación térmica, estructura térmica, lago tropical del alta montaña, lago Guamués, monomítico cálido.

THERMAL STRUCTURE OF LAKE GUAMUÉS, A TROPICAL LAKE HIGH MOUNTAIN.

ABSTRACT

This article discloses the results of research conducted on Lake Guamués, the purpose was to establish the thermal structure timescale. For this, sampling was conducted in 10 locations of the lake covering all of its different environments during the months of January through September 2013.

To achieve the stated objective, in situ measurements of the parameters such as water temperature, dissolved oxygen and depth were taken using a parametric probe of water quality YSI 6600 V2. Profiles of temperature and dissolved oxygen in the water column were built and the behavior of the thermal structure of the lake Guamués was analyzed.

Among the main results, we found that the lake has periods of complete mixing in July and September and is stratified in May, a situation that is directly related to the seasonality that is, in the rainy season favors complete mixture and in the summertime lake thermal stratification occurs, allowing classify it as a monomictic warm lake.

Finally, the importance of this study is highlighted because the study area has special and particular characteristics that have allowed categorizing it as a RAMSAR ecosystem, thanks to the ecosystemical potential manifested in its biodiversity, goods and environmental services provided to the population, however, existing studies about the dynamics of thermal structure are nonexistent in the region and few in the systems of Colombia, mainly in high mountain lakes because the majority of studies have been developed in warm lakes and tropical reservoirs.

KEYWORDS: Lake *Guamués*, monomictic warm, thermal stratification, thermal structure, tropical high mountain lake.

INTRODUCCIÓN

El Lago Guamués (LG), hace parte del humedal de importancia internacional RAMSAR Laguna de La Cocha, cuyo reconocimiento se basa fundamentalmente en que la zona contiene los páramos azonales más bajos del mundo, es un área rica en diversidad endémica restringida y especializada, contribuye a la regulación del clima de la región y tiene importancia cultural e histórica para las comunidades asentadas en el área (Ministerio del Medio Ambiente, 2000).

Por otra parte, teniendo en cuenta las características del lago, éste se clasifica como un lago tropical que presenta temperatura más o menos uniforme a lo largo del año y poca variación de la temperatura del agua de la superficie al fondo. Adicionalmente, también se clasifica como un lago de alta montaña, clasificación que se basa en las características físico, químicas y biológicas del agua (Ministerio del Medio Ambiente. CORPONARIÑO, 2011) y su altitud (Casallas & Gunkel, 2001).

Por su condición de lago tropical de alta montaña, la dinámica de LG se aparta de la dinámica que se presenta en los sistemas ubicados en las zonas templadas. En los lagos tropicales las propiedades físicas y químicas del agua, al igual que los procesos biológicos, son diferentes. Esto se debe a la temperatura, radiación solar, producción primaria, diversidad de flora y fauna y procesos metabólicos en el cuerpo de agua (Lewis, 1973). Los lagos tropicales de alta montaña son un tipo especial de ecosistema acuático, de los cuales existen pocos estudios de procesos físicos, químicos, biológicos e hidrodinámicos (Gunkel, 2003).

A pesar de la importancia ecológica y económica que tiene LG, no se ha realizado un monitoreo frecuente de sus características morfológicas, hidrológicas, químicas, físicas y biológicas. Existen estudios dispersos (varios trabajos de grado de la Universidad de Nariño) y estudios no actualizados como los de Cabrera (1970), donde se describen la

ografía, geología, origen e hidrografía de LG y el estudio de Narváez (1984), donde se hizo la batimetría del lago. En el tema específico de la estructura térmica no se encontraron registros, ni estudios adelantados en LG, existiendo un vacío de conocimiento en el fenómeno más característico en ecosistemas lénticos que influye notablemente sobre la calidad del agua del reservorio (Wetzel, 1981; Sierra, 2011).

En lagos y embalses, la mezcla resulta principalmente de tres grandes fuentes: energía de mezclado proveniente de los caudales afluentes, energía de mezcla de los caudales efluentes y transferencia de energía a través de la interfase agua-aire debida al efecto del viento, rotación de la tierra y ondas internas (Ortega et al., 2010; Franco, 2011). En los lagos tropicales la estratificación es muy compleja, depende de la ubicación geográfica, la estacionalidad pluviométrica, la velocidad de los vientos, los afluentes, los efluentes y las condiciones meteorológicas (Hutchinson & Löffler, 1956; Lewis, 1973, 1983a, 1983b; Gunkel, 2003).

Dada la relevancia de la zona y la necesidad de desarrollar estudios que permitan establecer la evolución de la estructura térmica en LG, se adelantó esta investigación durante el año 2013, en la cual se caracterizó la estructura térmica en diez puntos diferentes durante las épocas de mayor y menor precipitación, con el fin de conocer la variación de la temperatura con la profundidad y los posibles efectos de este fenómeno sobre la naturaleza de la columna de agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO. El lago Guamués hace parte de la cuenca alta del río Guamués, importante tributario de los ríos Putumayo y San Miguel, afluentes a su vez, del río Amazonas. Sus límites la ubican entre las coordenadas: 0°50" - 1°15" latitud norte y 77° 05" - 77° 20" longitud oeste (ver [Figura 1](#)) (Ministerio del Medio Ambiente. SIGAM, 2004).

Es el mayor humedal de los Andes colombianos, con un espejo de agua que tiene un área de 41,74 kilómetros cuadrados, una longitud máxima de 14,1 kilómetros, un ancho máximo de 6,2 kilómetros, una profundidad máxima de 70 metros y una capacidad de almacenamiento de 1700 millones de metros cúbicos de agua. (Ministerio del Medio Ambiente. CORPONARIÑO, 2011).



Fuente: Los autores.

Figura 1. Localización geográfica de LG.

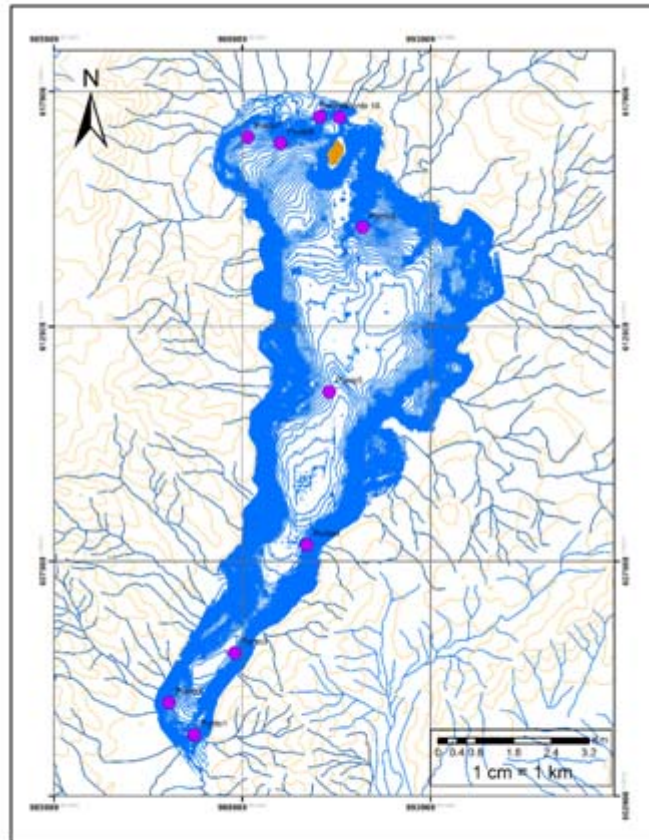
UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO. Para evidenciar la variación temporal de la estructura térmica de LG, se hicieron mediciones mensuales desde enero hasta septiembre de 2013 (véase [tabla 1](#)). Los meses de muestreo abarcaron las épocas de mayor y menor precipitación. Los registros de la precipitación media anual en la estación climatológica del Encano indican las máximas medias mensuales multianuales en abril, mayo, junio y julio, mientras que los mínimos se presentan en noviembre, diciembre, enero y febrero (Ministerio del Medio Ambiente. CORPONARIÑO., 2011).

Tabla 1. Fechas de muestreo estructura térmica – LG.

FECHA DE MUESTREO 2013	ÉPOCA	PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL MULTIANUAL ESTACIÓN ENCANO
Enero 25	Menor precipitación	82,4 m.m
Febrero 5	Menor precipitación	87,1 m.m
Marzo 18	Menor precipitación	100,9 m.m
Abril 23	Mayor precipitación	144,9 m.m
Mayo 7	Mayor precipitación	155 m.m
Julio 25	Mayor precipitación	133 m.m
Septiembre 27	Menor precipitación	85,1 m.m

Fuente: Los autores.

Las mediciones de profundidad, temperatura y oxígeno disuelto, parámetros con los cuales se determinó la estructura térmica, se realizaron en varios puntos representativos de LG seleccionados, según la metodología propuesta por Bonilla y Guillot (2003). Se hizo un recorrido en zigzag de sur a norte, con una longitud aproximada de 20 km, iniciando en la vereda Santa Lucía y terminando en la entrada nueva del río Encano. Las mediciones se realizaron en diez puntos (ver [Figura 2](#)), con el fin de obtener la mayor cobertura espacial de LG. Las mediciones mensuales se hicieron el mismo día en todos los puntos, iniciando en el punto 1 a las 8 de la mañana y terminando en el punto 10 a las 4 de la tarde.



Fuente: Los autores.

Figura 2. Ubicación de los puntos de muestreo.

Las coordenadas geográficas de cada sitio de muestreo, se obtuvieron utilizando un receptor de sistema de posicionamiento global (GPS), marca Garmin, modelo Map 76Csx. Estas coordenadas y las principales características de cada sitio de muestreo se indican en la [tabla 2](#).

Tabla 2. Coordenadas puntos de muestreo

PUNTO	LATITUD NORTE	LONGITUD OESTE	CARACTERÍSTICAS
1	1° 01' 00,9"	77° 10' 36,00"	Punto más cercano al río Guamués, efluente de LG. Se ubica en la vereda Santa Lucía y en su orilla izquierda se encuentra totora y vegetación de bosque muy húmedo montano bajo.
2	1° 01' 23,1"	77° 10' 53,4"	Existe totora en la orilla y vegetación de bosque muy húmedo montano bajo, es una zona que no tiene influencia antrópica.
3	1° 03' 17,3"	77° 09' 57,6"	Este punto se ubicó frente a la vereda Ramos, por donde corren quebradas que drenan hacia LG y además se desarrollan actividades de ganadería, de extracción de leche y cultivos de papa (<i>Solanum tuberosum</i> L).
4	1° 03' 12,6"	77° 09' 18,4"	Punto ubicado cerca a la vereda Naranjal donde se presenta cultivo minifundista y dada la alta intervención antrópica, se ha intensificado allí la reforestación para recuperar el bosque natural.

5	1° 04' 58,7"	77° 09' 03,0"	Este punto se ubicó al norte, en el centro de LG, donde históricamente se ha registrado la mayor profundidad, punto que corresponde a la zona limnética de la laguna.
6	1° 06' 13,1"	77° 07' 56,8"	Este punto se ubicó cerca a la vereda Mojondinoy donde existe una alta producción de carbón vegetal.
7	1° 06' 52,8"	77° 08' 40,07"	Punto ubicado en el flanco occidental, cerca de la vereda Motilón. Esta vereda está expuesta a riesgo hidrológico por avenidas torrenciales.
8	1° 07' 55,5"	77° 09' 59,1"	Este punto se ubicó cerca a la vereda El Carrizo, zona que tiene la más alta concentración de totora.
9	1° 08' 11,5"	77° 08' 51,2"	Se ubicó cerca al criadero de trucha de la Universidad de Nariño.
10	1° 08' 09,5"	77° 09' 09,4"	Se ubicó en la entrada del río Encano, principal afluente de LG. El sitio es conocido por los habitantes de la zona, como entrada nueva.

Fuente: Los autores.

TOMA DE DATOS. Una vez seleccionados los puntos de muestreo, se realizaron mediciones para obtener los perfiles de la temperatura del agua, oxígeno disuelto y la profundidad. Las mediciones se hicieron utilizando una Sonda Multiparamétrica de Calidad de Agua YSI 6600 V2. Dicha sonda tiene sensores para medir temperatura, conductividad, oxígeno disuelto, pH y profundidad, se puede operar en aguas dulces, saladas o contaminadas, en un rango de temperatura de -5 OC a 50 OC y hasta una profundidad de 200 metros (YSI Incorporated, 2009).

En cada sitio de muestreo se programó un muestreo no supervisado o desatendido, con intervalos de tiempo de cinco segundos. Este intervalo de cinco segundos se determinó teniendo en cuenta que el tiempo que necesita la sonda para hacer dos mediciones consecutivas es de cuatro segundos. Una vez programada la sonda, se sujetó a una guaya, se sumergió en el agua y se hizo descender lentamente hasta que tocó fondo.

Los datos que midió la sonda quedaron almacenados en la memoria interna del dispositivo. Finalizada la recolección de datos en campo, se procedió a recuperar los registros almacenados en la memoria, conectando la sonda a un computador que tenía instalado el programa Ecowatch y posteriormente se almacenaron como bases de datos de Excel.

PROCESAMIENTO DE DATOS. Con los datos se construyeron los perfiles de temperatura, oxígeno disuelto y se buscó el punto donde la disminución de la temperatura es de 0,2 OC o más por cada metro de profundidad.

Finalmente, se procesaron los datos de oxígeno disuelto superficial con los cuales se calculó el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto (%O₂), que es el porcentaje

máximo de oxígeno que puede disolverse en el agua a una presión y a una temperatura determinada. El cálculo de %O₂ se realizó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ saturación de OD} = \frac{C \cdot 100}{C_s} \quad [1]$$

Donde:

C: Oxígeno disuelto de la muestra de agua analizada (mg O₂ / L)

C_s: Concentración de saturación de O.D a la misma temperatura y presión que la medición

Si la medición es a presiones o alturas diferentes al nivel del mar, (Boyd, 1990)

$$C_s = C_n * \frac{P_o - P_w}{760 - P_w} \quad [2]$$

Donde:

C_n: Concentración de equilibrio de oxígeno disuelto a nivel del mar o a una presión de 760 mm Hg y a la temperatura observada

P_o: Presión atmosférica o barométrica observada en mm Hg, que puede ser medida directamente o se puede encontrar en función de la altitud.

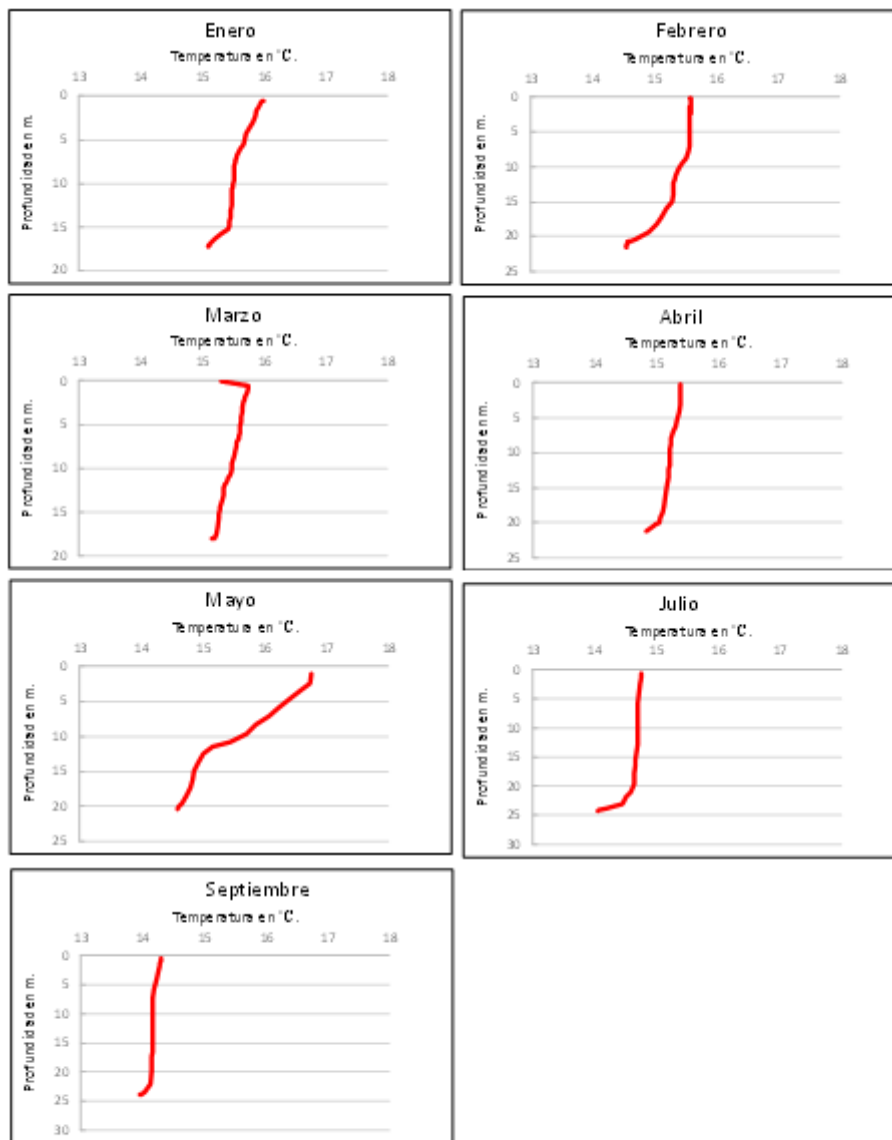
P_w: Presión de vapor de agua en mm Hg, que depende de la temperatura.

RESULTADOS

Los resultados de esta investigación permitieron diferenciar tres grandes grupos en los sitios de muestreo: el primero formado por los puntos identificados como 1, 2, 3, 6, 8 y 9; el segundo formado por los puntos donde se registraron profundidades mayores a 50 metros, que corresponden a los puntos identificados como puntos 4, 5 y 7; el tercer grupo corresponde al punto 10 que recibe el principal afluente de LG.

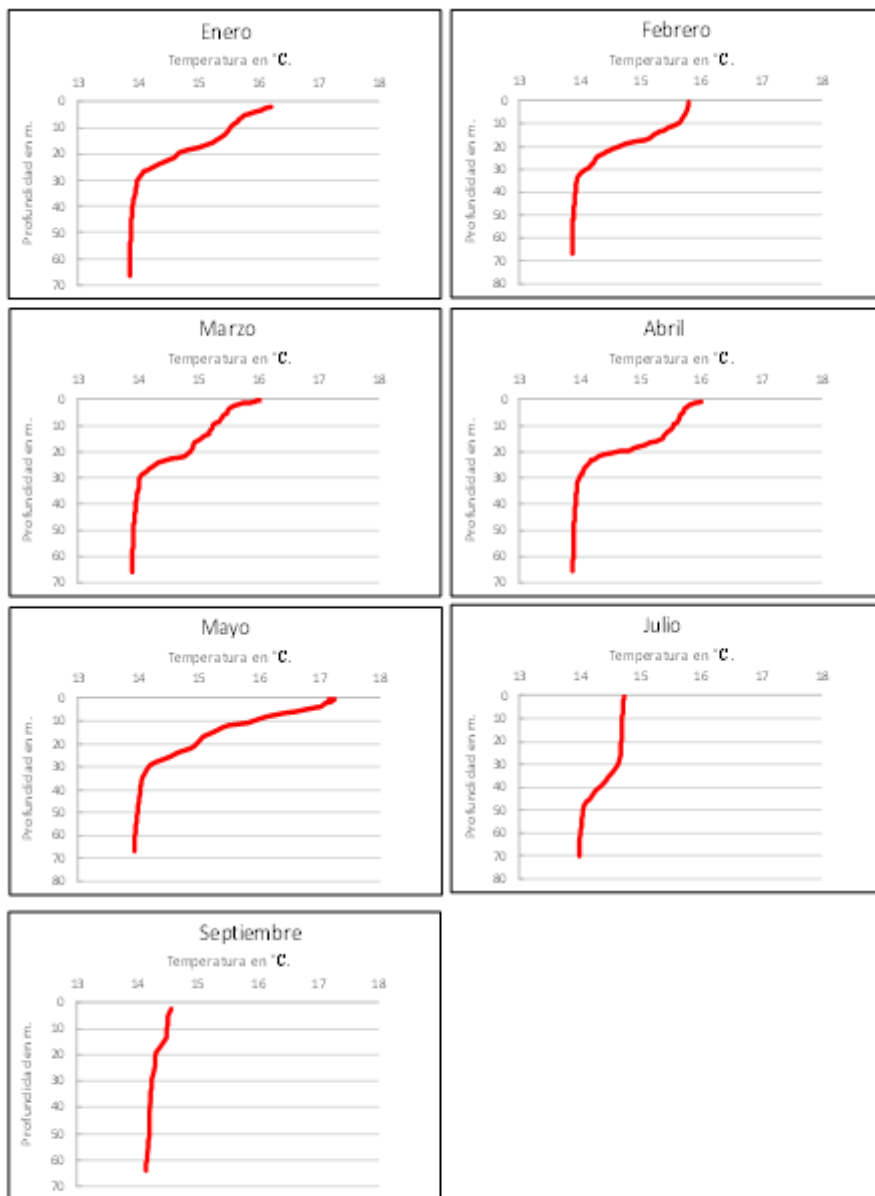
PERFILES DE PROFUNDIDAD VS. TEMPERATURA. A continuación se presentan los perfiles de profundidad vs. temperatura para el punto 1 ([figura 3](#)), punto 5 ([figura 4](#)) y punto 10 ([figura 5](#)), los cuales son representativos de cada uno de los grupos que se pudieron diferenciar en los sitios de muestreo.

Sintetizando, en todos los puntos para la temperatura superficial los valores más bajos se presentaron julio y septiembre y los valores más altos en el mes de mayo. A la máxima profundidad la temperatura más baja se registró en el punto 10 en el muestreo realizado en julio con un valor de 13,26 OC. y la temperatura más alta se registró en el punto 7 durante enero con 17,32 OC. y en mayo con 17,1 OC.



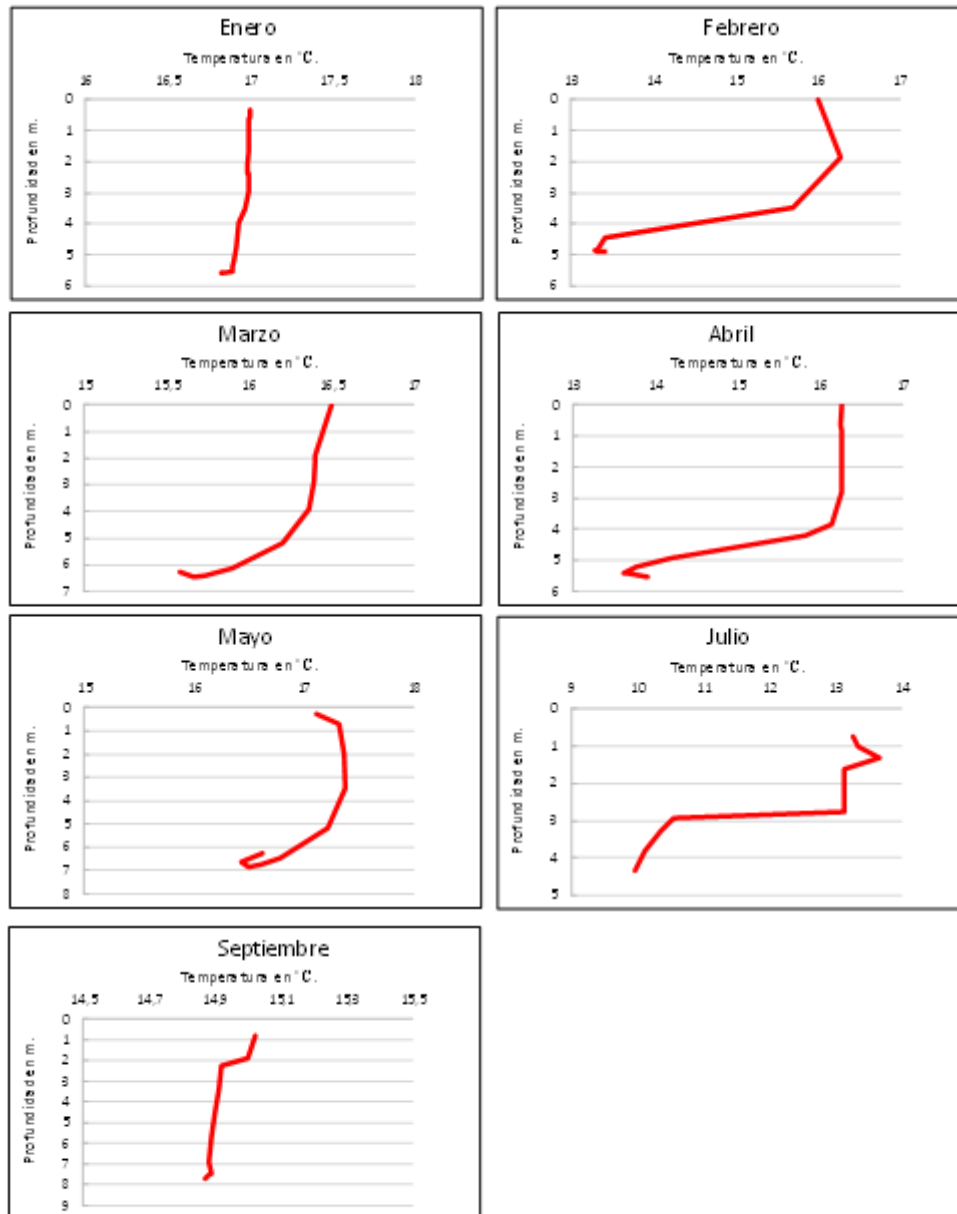
Fuente: Los autores.

Figura 3. Perfil de profundidad vs. temperatura. Punto 1.



Fuente: los autores.

Figura 4. Perfil de profundidad vs. temperatura. Punto 5



Fuente: los autores.

Figura 5. Perfil de profundidad vs. temperatura. Punto 10

ESTRUCTURA TÉRMICA. Los resultados de la estructura térmica se presentan para los puntos 1, 5 y 10 y se pueden observar consolidados en las [tablas 3 a 5](#).

Las tablas se interpretan así:

Prof. Máx: Profundidad máxima en cada punto.

Dtemp: Diferencia de temperaturas entre superficie y fondo.

$\Delta^{\circ}\text{C} / \text{m}.$: Gradiente de temperatura en la columna de agua. Valor dado por la disminución de la temperatura, por cada metro que se desciende en la profundidad se obtiene al dividir D temp. /Prf. Máx.

Tm. Profundidad en la cual se identificó la termoclina

DTm tem: Variación de la temperatura en la termoclina. Valor que se obtiene al restar la temperatura registrada en la profundidad en la cual inicia la termoclina y la temperatura registrada en la profundidad en la cual termina la termoclina.

$\Delta Tm.^{\circ}C /m.$: Gradiente de temperatura en la termoclina, valor que se obtiene al dividir DTm tem./ Espesor de la termoclina.

S.V: Sin variación

En general, para todos los puntos la diferencia de la temperatura entre la superficie y el fondo muestra valores bajos; la mayor diferencia fue de 3,31 °C. El $\Delta^{\circ}C /m$, también es bajo, con valores inferiores a 0,4 °C/m.

Tabla 3. Estructura térmica en el Punto 1.

Punto 1	Prof. Máx. (metros)	D _{temp.} (°C)	$\Delta^{\circ}C /m.$	Tm. (metros)	DTm tem. (°C)	$\Delta Tm.^{\circ}C /m.$
Enero	17,193	0,88	0,05	Desde 15,267	0,28	0,26
				Hasta 16,320		
				Espesor 1,053		
Febrero	21,636	1,03	0,04	Desde 19,303	0,3	0,22
				Hasta 20,638		
				Espesor 1,335		
Marzo	18,027	0,14	0,007	S.V		
Abril	21,144	0,55	0,02	Desde 20,455	0,15	0,21
				Hasta 21,144		
				Espesor 0,689		
Mayo	20,305	2,16	0,1	Desde 9,545	0,54	0,28
				Hasta 11,458		
				Espesor 1,91		
Julio	24,163	0,72	0,02	S.V		
Septiembre	23,923	0,34	0,01	S.V		

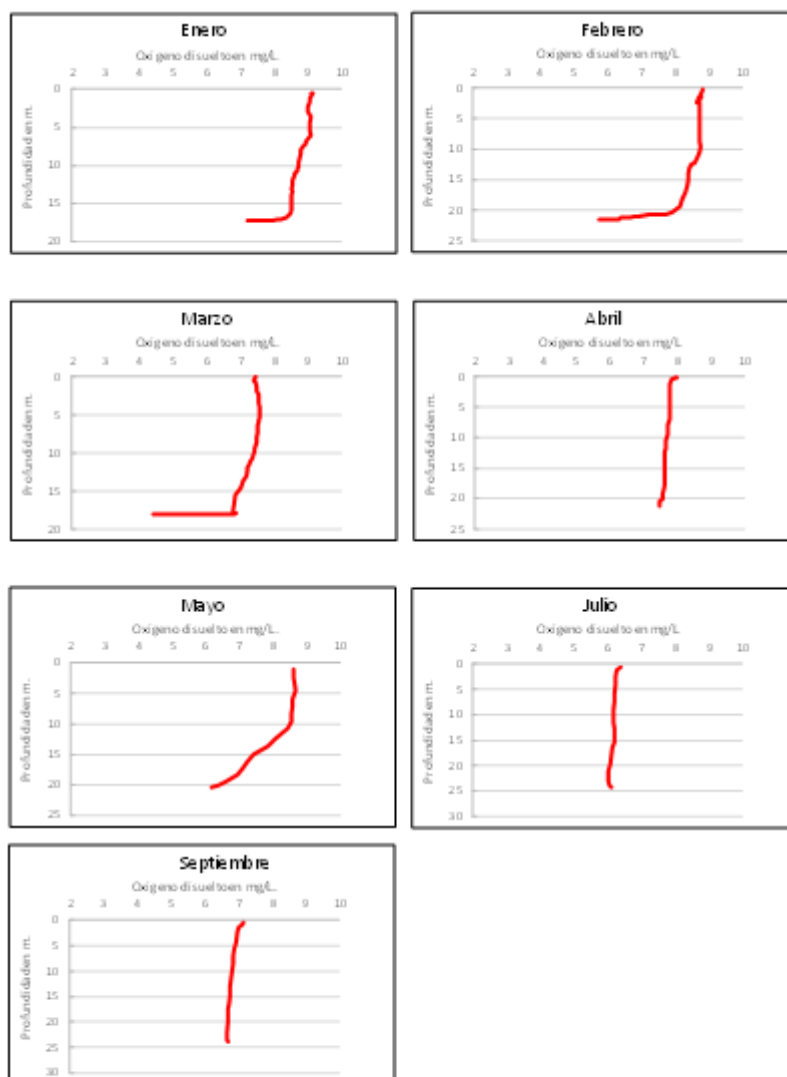
Tabla 4. Estructura térmica en el Punto 5.

Punto 5	Prof. Máx. (metros)	D _{temp.} (°C)	Δ°C /m.	Tm. (metros)	DTm _{tem.} (°C)	ΔTm.°C /m.
Enero	66,316	2,33	0,03	S.V		
Febrero	67,039	1,92	0,02	S.V		
Marzo	65,959	2,08	0,03	S.V		
Abril	65,502	2,14	0,03	S.V		
Mayo	67,086	3,21	0,04	Desde 10,675	0,31	0,24
				Hasta 11,925		
				Espesor 1,25		
Julio	69,979	0,74	0,01	S.V		
Septiembre	64,143	0,42	0,006	S.V		

Tabla 5. Estructura térmica en el Punto 10.

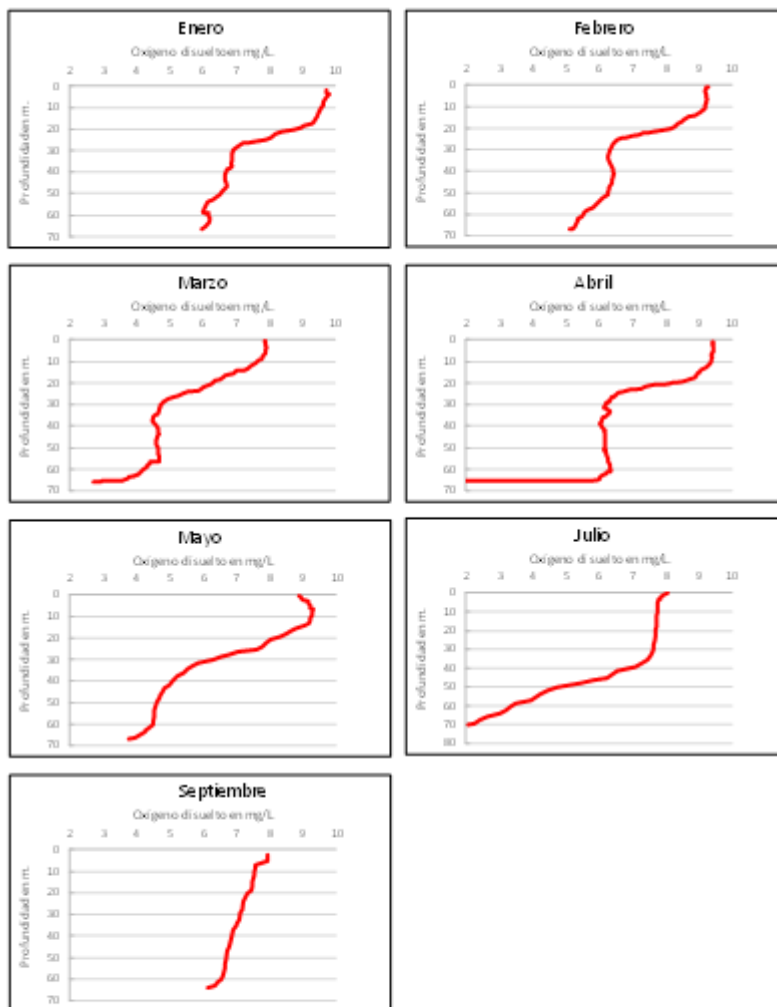
Punto 10	Prof. Máx. (metros)	D _{temp.} (°C)	Δ°C /m.	Tm. (metros)	DTm _{tem.} (°C)	ΔTm.°C /m.
Enero	5.585	0,16	0,02	S.V		
Febrero	4,876	2,63	0,05	Desde 1,845	2,85	1,08
				Hasta 4,461		
				Espesor 2,616		
Marzo	6,285	0,82	0,13	Desde 5,203	0,47	0,38
				Hasta 6,421		
				Espesor 1,218		
Abril	5,529	2,34	0,42	Desde 3,835	2,53	1,6
				Hasta 5,409		
				Espesor 1,579		
Mayo	6,239	0,49	0,07	Desde 5,163	0,72	0,42
				Hasta 6,871		
				Espesor 1,71		
Julio	9,95	3,31	0,3	Desde 1,319	3,71	1,2
				Hasta 4,340		
				Espesor 3,021		
Septiembre	7,693	0,15	0,01	S.V		

PERFILES DE PROFUNDIDAD VS. OXÍGENO DISUELTO. A continuación se presentan los perfiles de profundidad vs. temperatura para el punto 1 (figura 6), punto 5 (figura 7) y punto 10 (figura 8), los cuales son representativos de cada uno de los grupos que se pudieron diferenciar en los sitios de muestreo.



Fuente: Los autores.

Figura 6. Perfil de profundidad vs. oxígeno disuelto. Punto 1.



Fuente: Los autores.

Figura 7. Perfil de profundidad vs. oxígeno disuelto. Punto 5.



Fuente: Los autores.

Figura 8. Perfil de profundidad vs. oxígeno disuelto. Punto 10.

Los valores más bajos de oxígeno disuelto en superficie se encontraron en julio y septiembre, pero a su vez, en estos mismos meses se encontraron los valores más altos en el fondo. Las mayores variaciones en todos los puntos se registran en el punto 10, punto cercano a la llegada del afluente río Encano

En los puntos más profundos, puntos 4, 5 y 7, se evidencia el descenso casi constante de la concentración de oxígeno después de los 30 metros, en los otros puntos que son menos profundos, no se llega a evidenciar el descenso casi constante en algunos meses, pero para todos es claro que la concentración de O.D disminuye al bajar la temperatura.

% DE SATURACIÓN DE OXÍGENO SUPERFICIAL. Los resultados de las mediciones de oxígeno disuelto en la superficie y porcentaje de saturación de oxígeno (%O₂) se pueden observar consolidados en la [tabla 6](#).

Los valores más bajos se encontraron en julio y septiembre, y los valores más altos se encontraron en enero. En general, en todos los puntos hay sobre saturación a

excepción del punto 1 en el muestreo de julio y el punto 4 en el muestreo de septiembre.

Tabla 6. Saturación de oxígeno disuelto superficial.

MESES		PUNTOS									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Enero	O.D	9,15	9,15	9,53	8,84	9,72	9,18	9,74	9,53	9,41	9,43
	% O ₂	139,42	139,42	145,21	134,70	148,11	139,88	151,51	148,24	146,37	146,68
Febrero	O.D	8,83	8,85	9,04	9,14	9,28	9,43	9,4	9,51	9,46	9,53
	% O ₂	134,55	134,85	137,75	139,27	141,40	143,69	143,23	144,91	144,15	145,21
Marzo	O.D	7,45	7,7	7,88	7,84	7,86	7,88	8,17	8,24	8,3	8,36
	% O ₂	113,52	117,33	120,07	119,46	119,77	120,07	124,49	125,56	126,47	127,39
Abril	O.D	7,99	7,92	8,14	8,41	9,42	8,56	8,38	S.D	8,32	8,42
	% O ₂	121,75	120,68	124,03	128,15	143,54	130,43	127,69	S.D	126,78	128,30
Mayo	O.D	8,62	7,75	8,34	8,11	8,88	8,86	8,82	8,82	8,98	9
	% O ₂	134,08	120,55	129,73	126,15	138,13	137,82	137,20	137,20	139,68	140,00
Julio	O.D	6,4	6,99	7,84	8,05	8,05	8,81	8,13	8,95	8,23	9,77
	% O ₂	95,47	104,27	116,95	120,09	120,09	131,42	121,28	133,51	122,77	139,46
Sept.	O.D	7,16	7,71	7,6	6,65	7,95	7,61	8,22	8,36	8,41	8,03
	% O ₂	104,40	112,42	110,82	96,97	115,92	110,97	119,86	121,90	122,63	119,73

O.D = Oxígeno disuelto en mg/L.

%O₂ = Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto

S.D = Sin datos

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

PERFILES DE TEMPERATURA Y ESTRUCTURA TÉRMICA. Los resultados que se analizan a continuación son una aproximación para entender la dinámica de la estructura térmica de LG, teniendo en cuenta que no se encontró un registro histórico de información primaria sobre estudios realizados en este lago.

Inicialmente y teniendo en cuenta la clasificación tradicional de los lagos basada en sus condiciones termales, LG se clasificaría como un lago polimíctico frío (Hutchinson & Löffler, 1956; Wetzel, 1981; Roldán & Ramírez, 2008). Los resultados de esta investigación no se ajustan por completo a la clasificación descrita por Wetzel, debido a las condiciones ambientales de la zona donde se ubica LG. Tampoco se ajusta por completo a lo afirmado por Roldán y Restrepo, ya que ellos hacen su clasificación teniendo en cuenta la ubicación de LG en el piso térmico frío o montano bajo y tienen en cuenta evidencias de la Laguna de Tota, que presenta características similares a

LG. Por lo tanto, para clasificar LG según su estructura térmica es necesario analizar en primer lugar, las características particulares de LG y hacer su clasificación posteriormente.

Para el caso específico de la temperatura del agua en LG, se encontró poca variación a lo largo de todos los meses de muestreo; el gradiente térmico fue bajo ($\Delta^{\circ}\text{C} / \text{m} > 1,5$) y aunque parezca obvio se determinó que la temperatura del agua disminuye al aumentar la profundidad. Estas tres condiciones también fueron encontradas y reportadas para otros ecosistemas tropicales por Lewis (1973, 1983b), Richerson, (1991), Aguirre (1994), Casallas y Gunkel (2001) Benjumea & Wills (2007), Franco et al. (2010) y Franco (2011).

Ahora bien, a pesar de que en LG no existe una estratificación marcada como en los ecosistemas templados, siempre es importante determinar los puntos donde pueda existir un cambio brusco de temperatura (termoclina) ya que como lo afirma Ortega et al (2010), estas pequeñas diferencias verticales de la temperatura son capaces de generar una estructura térmica estable, que afecta la calidad del agua y limita la oxigenación.

Durante los meses en lo que se adelantó esta investigación, mayo es el único que presenta una termoclina claramente diferenciada; julio y septiembre presentan condiciones de isoterminia, es decir, presentan una mezcla completa en la columna de agua; enero, febrero, marzo y abril tienen condiciones de mezcla completa en algunos puntos y en otros una termoclina débil, la cual se presenta principalmente en los puntos donde la profundidad supera los 50 metros.

Es posible que la presencia de puntos con mezcla completa y otros estratificados en un mismo mes, se deba a la presencia de material disuelto u orgánico (Margalef, 1983) o la influencia de variables como radiación solar, velocidad y dirección del viento, humedad relativa del aire, precipitación, entrada y salida de caudales, temperatura de los afluentes, coeficiente de extinción de luz y cobertura de nubes. Estos factores se han estudiado y descrito ampliamente para embalses por Villegas (2004), Fernández (2006), Ramos (2007), Marín Arroyave (2008), Franco et al. (2010), Franco, (2011), Román-Botero (2011), Largo, (2011), Gómez-Giraldo et al. (2013), Román-Botero et al. (2013) y Ramírez, (2015); pero para lagos tropicales la información de la influencia de estas variables es escasa: Lewis (1973), Lewis (1983b), Casallas & Gunkel (2001), Richerson (1991), Gunkel (2000), Gunkel (2003), Quiroz et al.(2008) y Rangel-Peraza et al. (2012).

En julio y septiembre, cuando se encontraron condiciones de isoterminia, el Instituto Alexander Von Humboldt (2004) y el Plan de Manejo Integral Humedal RAMSAR Laguna de la Cocha (2011), afirman que se presentan las mayores precipitaciones, una disminución en el brillo solar, bajas temperaturas ambientales y presencia de vientos fuertes. Los valores de la estación climatológica principal El Encano (código 47015100) durante el año 2013, soportan esta información histórica: en julio se presentó el máximo de precipitación con 191,2 m.m; el valor más bajo de brillo solar con 50,4 horas y el valor más bajo de temperatura media mensual con 10,5 grados. Estas condiciones climatológicas influyen directamente en las características térmicas de la masa de agua, permitiendo afirmar que en LG se presenta una mezcla completa de la columna de agua cuando la temperatura ambiente es baja.

El anterior resultado es similar al reportado para el lago San Pablo de Ecuador (Casallas y Gunkel, 2001), en julio presentó absoluta isoterminia y se alcanzó el menor contenido de calor. Para los lagos Zempoala y Tonatiahua ubicados en México, Quiroz et al. (2008), reportan periodos de mezcla cuando hay un descenso en la temperatura

ambiente e igual situación se presenta en el lago Agua Fría ubicado en Venezuela, donde según González et al. citado por (Quiroz et al., 2008) durante la temporada de sequía (diciembre a febrero) hay mezcla completa ocasionada por el descenso de la temperatura. De igual manera en el reservorio de Aguamilpa ubicado en México (Rangel-Peraza et al., 2012), se encontró también que los periodos de mezcla se producen cuando existe una menor temperatura ambiente.

Retomando la información, en mayo se registró la mayor temperatura superficial en el agua, en consecuencia, se encontró una termoclina marcada en LG en este periodo. Igual condición fue reportada para el lago San Pablo de Ecuador que alcanzó la mayor estabilidad en la estratificación cuando la temperatura presentó sus valores más altos (Casallas & Gunkel, 2001).

Está claro que para los puntos profundos hay una mezcla completa de la columna de agua durante los meses en los que se hicieron los muestreos, a excepción de mayo. Según lo descrito anteriormente, LG se clasifica como lago monomítico cálido porque presenta un periodo de mezcla y uno de estratificación al año, con temperaturas superficiales en el agua que no son inferiores a 13 °C. La clasificación de Lewis (1983a) para este tipo de lagos los describe como los lagos en los cuales las temperaturas nunca descienden de 4°C o más, circulan libremente en invierno y se estratifican en verano, siendo frecuente su existencia en las regiones cálidas de las zonas templadas y en las áreas montañosas de latitudes subtropicales.

A pesar de la escasa información existente sobre ecosistemas lénticos tropicales de alta montaña, se encontraron estudios que validan los resultados encontrados en LG como los de Gunkel (2000) y Casallas y Gunkel (2001) que clasificaron el San Pablo, segundo lago más grande de Ecuador, como monomítico cálido, caracterizado por un periodo de estratificación que coincide con la temporada de lluvias, y un periodo de mezcla en la época seca.

Quiroz et al. (2008), clasificaron el Lago Tonatiahua ubicado en México, como monomítico cálido, ya que presentó un periodo de estratificación en julio-octubre y el de mezcla en diciembre. En septiembre se registraron los datos más altos de temperatura y en diciembre los valores más bajos. Rangel-Peraza et al. (2012) clasificaron el reservorio de Aguamilpa ubicado en México como monomítico cálido, con un periodo de mezcla en la época de bajas temperaturas ambientales y un periodo de estratificación cuando la temperatura ambiente es alta.

Finalmente, el Lago Titicaca, el más grande de los lagos tropicales de alta montaña, fue clasificado también por Richerson (1991) como monomítico cálido, pues registra un periodo de mezcla al año en julio, durante el máximo del período seco, la estratificación es poco marcada y las diferencias entre las temperaturas del epilimnion y del hipolimnion son bajas (< 5 °C) y persisten durante la mayor parte del año.

Sin embargo, el punto 10 se aleja por completo de los resultados encontrados para todos los puntos, condición que posiblemente se presenta por la influencia del afluente. Lastimosamente, dentro de los objetivos de esta investigación no se hicieron caracterizaciones de los afluentes pero se puede deducir que tienen gran influencia en los cambios estacionales de la estructura térmica.

La influencia de los afluentes en la estructura térmica ha sido estudiada en detalle para embalses colombianos, en los que se ha encontrado que el comportamiento térmico puede presentar una serie de particularidades distintas, condicionadas por factores ajenos a los meteorológicos (Franco, 2011; Largo, 2011; Marín Ramírez, 2015; Román-Botero, 2011 y Román-Botero et al., 2010,2013), haciendo que la predicción

de los gradientes térmicos sea una labor compleja y que frecuentemente se apoya en modelos matemáticos (Ortega A. & Restrepo S., 2010).

Con los datos disponibles no se puede hacer una afirmación certera de los fenómenos que se presentaron en el punto 10, no existen estudios o reportes que permitan hacer una comparación. Por lo expuesto, se evidencia la necesidad de adelantar investigaciones en lagos tropicales de alta montaña para avanzar en el conocimiento de los mismos. Como lo afirman Roldán y Ramírez (2008), en Colombia existe una profunda carencia de información sobre el comportamiento de los ecosistemas acuáticos, o cuando existe, es tan difusa y fragmentaria que es difícil de usar y dificulta la comparación con los datos hallados por diferentes investigadores.

PERFILES DE OXÍGENO DISUELTO Y PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE OXÍGENO SUPERFICIAL. Después de la temperatura, el oxígeno es uno de los factores importantes a medir en el agua, ya que sin un nivel apreciable de oxígeno disuelto no podrían existir muchas clases de organismos acuáticos (Margalef, 1983).

Esteves (1988) citado por (Roldán & Ramírez, 2008), afirma que en los lagos tropicales se presenta un déficit de oxígeno, independientemente del patrón térmico y del nivel de biomasa fitoplanctónica. Dicha afirmación se aleja por completo de los valores de oxígeno disuelto encontrados en esta investigación y, por el contrario, sustenta el postulado de Sierra (2011), quien afirma que los lagos completamente mezclados no tienen problemas de deficiencia de oxígeno. Los resultados de esta investigación, indican presencia de condiciones aerobias incluso aun en el punto más profundo donde la concentración de oxígeno disuelto registrada fue de 2,07 mg/L.

Los valores más bajos de oxígeno disuelto en superficie se encontraron en julio y septiembre, pero a su vez en estos mismos meses, se encontraron los valores más altos en el fondo. Durante estos meses hay una mezcla completa en la columna de agua, indicando que la ausencia de estratificación influye en la concentración de oxígeno en el fondo. La misma situación la reportaron Iltis, Carmouze, y Lemoalle, (1991) en el lago Titicaca.

Las mayores variaciones en todos los puntos se registraron en el punto 10, punto cercano a la llegada del afluente río Encano; esta situación puede darse por la turbulencia que genera la corriente, que aumenta la reaireación. Igual situación ha sido reportada para la ciénaga de Cachimbero en Santander, por Benjumea y Wills (2007). En el estudio de Gómez-Giraldo et al., (2013) encontraron que los afluentes y descargas son los que más influyen en el cambio de estratificación, un cambio de la temperatura en dos grados crea plumas claramente diferenciadas y cambia el comportamiento de la estratificación.

Analizando el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto hay sobresaturación, esto significa que hay adición de oxígeno desde la atmósfera y pérdida hacia ella. Este fenómeno ocurre cuando las aguas superficiales son perturbadas por el viento y causan una oxigenación en la columna de agua (Roldán & Ramírez, 2008). En este orden de ideas, se considera que saturaciones entre 80 a 125% son excelentes para el desarrollo de todas las formas de vida aeróbicas. En el caso de LG, los valores del porcentaje de saturación de oxígeno indican buenas condiciones, porque la situación reportada anteriormente para el lago Titicaca por Iltis, Carmouze y Lemoalle, (1991). En el lago San Pablo de Ecuador se reportan valores de sobresaturación en la superficie, pero en este lago la sobresaturación se presenta por la gran cantidad de biomasa, porque tiene una tendencia a la eutrofia (Casallas & Gunkel, 2001).

Finalmente, se puede afirmar que LLC tiene buena calidad de agua dado que las gráficas ortógradas se pueden construir únicamente a partir de los datos que se encuentran en lagos que presentan una oligotrofia moderada y durante los meses en los que los reportes generan gráficas clinógradas, no se llega a las condiciones de anoxia, pero sí se encuentran concentraciones de oxígeno disuelto, totalmente compatibles con formas de vida acuática. La mezcla completa de la columna de agua permite la entrada de oxígeno a las capas inferiores y un reemplazo constante, aun en el fondo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con las variaciones de temperatura del lago Guamués que se registraron durante los meses de estudio, se clasificó como un lago monomítico cálido, con periodos de mezcla completa en julio y septiembre y una termoclina durante mayo.

Los afluentes que llegan al lago pueden incidir en la formación o no de la termoclina como sucedió en el punto 10, cuando los afluentes entran al lago y lo hacen con temperaturas diferentes a las existentes, condición que necesita ser estudiada para entender con claridad el funcionamiento del Guamués.

El lago Guamués presenta condiciones aeróbicas en toda la columna de agua, aun en las zonas más profundas del lago existen concentraciones de oxígeno disuelto compatibles con diferentes formas de vida.

El oxígeno y el porcentaje de saturación registraron valores más altos en superficie con descenso hacia el fondo. Según el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, LG se encuentra sobre saturado, esto significa que hay adición de oxígeno desde la atmósfera y pérdida hacia ella, evidenciando la influencia de los factores climatológicos.

Para entender con total certeza la dinámica de la estructura térmica de LG, es necesario adelantar estudios durante dos o tres años consecutivos con intervalos mensuales de muestreo, realizar muestreos nictemerales, ubicar cerca al espejo de agua, estaciones meteorológicas para recolectar datos de radiación de onda corta y larga, humedad relativa, velocidad y dirección del viento e implementar diferentes modelos matemáticos sensibles a las variaciones de estos parámetros.

FUENTES DE FINANCIACIÓN

Los autores agradecen a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD y su Grupo de Investigación BIOTICS y a la Universidad Mariana y su Grupo de Investigación Ambiental (GIA); quienes financiaron esta investigación.

POTENCIAL CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

REFERENCIAS

- Aguirre, N. (1994). Estructura térmica de un embalse neotropical. *Revista AINSA*, 26, 48–56.
- Benjumea, C. A., & Wills, Á. (2007). Evaluación de la estratificación térmica y su relación con el oxígeno disuelto del agua en la ciénaga Cachimbero, municipio de Cimitarra, Santander. En: *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (41), 48–65.
- Bonilla, M., & Guillot, G. (2003). Prácticas de ecología. (Universidad Nacional de Colombia, Ed.). Santa Fe de Bogotá.
- Boyd, (1990). *Water quality in warmwater fish ponds. Agricultural Experiment Station*. (Auburn University, Ed.). Alabama.
- Cabrera, W. (1970). La Cocha: un lago andino en el sur de Colombia. En: *Boletín de la Sociedad Colombiana de Geografía*, 27(101), 37–52.
- Casallas, J., & Gunkel, G. (2001). Algunos aspectos limnológicos de un lago altoandino: El lago San Pablo. En: *Limnética*, 215–232.
- Fernández, J. M. (2006). *Modelamiento de la Estructura Térmica en el Sistema Hidroeléctrico de los Embalses Porce II - Porce III*. Universidad Nacional de Colombia.
- Franco, J. (2011). *Modelación de la estructura térmica de un embalse ramificado mediante el análisis de los procesos físicos gobernantes. Aplicación al embalse multipropósito Riogrande II*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia.
- Franco, J., Toro-Botero, F., & Gómez-Giraldo, A. (2010). Efecto de la posición de la compuerta de captación sobre la estructura térmica de un embalse tropical. In *Memorias XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica*. Punta del Este. Uruguay.
- Gómez-Giraldo, A., Román-Botero, R., & Toro-Botero, M. (2013). Seasonal Evolution of the Thermal Structure of a Tropical Reservoir. In: *Proceedings 16th International Workshop on Physical Processes in Natural Waters (PPNW2013)*(pp. 2–3).

- Gunkel, G. (2000). Limnology of an Equatorial High Mountain Lake in Ecuador, Lago San Pablo. En: *Limnológica*, 30, 113–120.
- Gunkel, G. (2003). Limnología de un Lago Tropical de Alta Montaña, en Ecuador: Características de los sedimentos y tasa de sedimentación. En: *Revista de Biología Tropical*, 51(2), 381–392.
- Hutchinson, G., & Löffler, H. (1956). The thermal classification of lakes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, (42), 84–86.
- Iltis, A., Carmouze, J., & Lemoalle, J. (1991). Características físico químicas del agua. In: C. Dejoux & A. Iltis (Eds.), *El Lago Titicaca, síntesis del conocimiento limnológico actual*. (pp. 107–114). La Paz. Bolivia.
- Instituto Alexander Von Humboldt. (2004). *Proyecto de incentivos para la Laguna de La Cocha como sitio Ramsar*.
- Largo, D. (2011). *Caracterización espacio - temporal de la estructura térmica del embalse Porce II*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia.
- Lewis, W. M. J. (1973). The thermal regime of Lake Lanao (Philippines) and its theoretical implications for tropical lakes. *Limnology and Oceanography*, 18(March), 200–217.
- Lewis, W. M. J. (1983a). A revised classification of lakes based on mixing. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 40, 1779–1787.
- Lewis, W. M. J. (1983b). Temperature heat and mixing in Lake Valencia, Venezuela. *Limnology and Oceanography*, 28(2), 273–286.
- Margalef. (1983). *Limnología*. (Ediciones Omega, Ed.). Barcelona.
- Marín Arroyave, L. (2008). *Modelamiento de la Estructura Térmica en Embalses Tropicales –Aplicación Riogrande II-*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia.
- Marín Ramírez, A. (2015). *Corrientes de densidad en el embalse Amaní y su influencia en la estructura térmica y la calidad del agua*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2000). Decreto 698 de 2000. Recuperado de: http://www.minambiente.gov.co/documentos/741_Dec_698_2000.pdf
- Ministerio del Medio Ambiente. CORPONARIÑO. (2011). Plan de manejo integral Humedal Ramsar Laguna de la Cocha, 327.

- Ministerio del Medio Ambiente. SIGAM. (2004). **Agenda Ambiental del Municipio de Pasto**.
- Narváez. (1984). **Estudio batimétrico y algunas relaciones ecológicas del lago Guamués (La Cocha). Pasto**. Universidad de Nariño.
- Ortega A., S., & Restrepo S., J. P. (2010). **Análisis de sensibilidad para la modelación numérica unidimensional de embalses tropicales**. Trabajo de grado pregrado. Universidad Nacional de Colombia.
- Ortega, S. et al. (2010). Análisis de sensibilidad para la modelación unidimensional de la estructura térmica de embalses tropicales. In: **XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica Punta del Este**. (pp. 1–15). Uruguay.
- Quiroz, H. et al (2008). Dinámica espacio - temporal de oxígeno - temperatura en los lagos Zempoala y Tonatiahua. **Acta Universitaria, Universidad de Guanajuato**, 18(1), 57–65.
- Ramírez, J. J. (2015). Comportamiento diario y estacional de las estructuras óptica y térmica en un embalse tropical colombiano. En: **Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales**, 39(150), 77–90.
- Ramos, R. (2007). **Modelación del efecto del viento sobre la estructura térmica del embalse Porce II**. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia.
- Rangel-Peraza, J. G. et al (2012). Modelling approach for characterizing thermal stratification and assessing water quality for a large tropical reservoir. **Lakes & Reservoirs: Research & Management**, 17(2), 119–129. <http://doi.org/10.1111/j.1440-1770.2012.00503.x>
- Richerson, P. (1991). El régimen de estratificación termal. In: C. Dejoux & A. Illis (Eds.), **El Lago Titicaca, síntesis del conocimiento limnológico actual**. (pp. 139–148). La Paz. Bolivia.
- Roldán, G., & Ramírez, J. J. (2008). **Limnología neotropical**. (Universidad de Antioquia, Ed.) (Segunda). Medellín.
- Román-Botero, R. (2011). **Caracterización Espacio Temporal de la Estructura Térmica de un Embalse Tropical Poco Profundo, Abastecido Parcialmente por Bombeo**. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia.
- Román-Botero, R., Gómez-Giraldo, A., & Toro-Botero, M. (2010). Importancia del ciclo diario de la temperatura de los afluentes en la estructura térmica de embalses

tropicales. In: *Memorias XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica*. (p. 11). Punta del Este. Uruguay.

- Román-Botero, R., Gómez-Giraldo, A., & Toro-Botero, M. (2013). Efecto estacional de los afluentes en la estructura térmica de un pequeño embalse neotropical, La Fe – Colombia. *Dyna*, 177(Febrero), 152–161.
- Sierra, C. A. (2011). *Calidad del agua. Evaluación y diagnóstico*. (Universidad de Medellín, Ed.). Medellín.
- Villegas, B. (2004). *Utilización de un Modelo Numérico para el Estudio de la Estructura Térmica del Embalse Porce II*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia.
- Wetzel. (1981). *Limnología*. (Ediciones Omega, Ed.). Barcelona.
- YSI Incorporated. (2009). *Multiparameter Water Quality Sondes User Manual*.

1. Magíster en Ingeniería Ambiental. Docente Asistente Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Investigadora Grupo BIOTICS. <http://orcid.org/0000-0002-8921-1888> Correo electrónico: mery.lopez@unad.edu.co

2. Ingeniero Ambiental. Universidad Mariana. <http://orcid.org/0000-0003-1466-9971> Correo electrónico: gojurador@hotmail.com

3. Ingeniero Ambiental. Universidad Mariana. <http://orcid.org/0000-0002-7266-2156> Correo electrónico: ivanhovic-1018@hotmail.com

4. Magister Science en Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas. Docente Universidad Mariana, Pasto. Investigadora del Grupo GIA. <http://orcid.org/0000-0002-7183-8471>. Correo electrónico: smadronero@umariana.edu.co

Para citar este artículo: López-Martínez, M.L.; Jurado-Rosero, G.A.; Páez-Montero, I.D. y Madroñero-Palacios, S.M. (2017). Estructura térmica del Lago Guamués, un lago tropical de alta montaña. *Luna Azul*, 44, 94-119. DOI: 10.17151/luaz.2017.44.7. Recuperado de <http://200.21.104.25/lunazul/index.php/component/content/article?id=223>

Esta obra está bajo una [Licencia de Creative Commons Reconocimiento CC BY](#)

