

Artículo Científico

Estado trófico de la Laguna de Calderas, San Vicente Pacaya y San Francisco de Sales, Escuintla, Guatemala; en función del Nitrógeno Total, conforme a los criterios de Nürnberg y Suecia.

Mariano Luis Alberto Martínez Méndez
Ingeniero Civil M. Sc. Ingeniería Sanitaria, ERIS-USAC-Guatemala

Dirección para recibir correspondencia: maswatt@gmail.com
Recibido 14 de enero de 2016 Aceptado 26 de julio de 2017

Resumen:

Este artículo da a conocer el estado trófico de la laguna de Calderas acorde al análisis y a los resultados obtenidos en el año 2011; dicho análisis se efectuó en función del nitrógeno total disuelto en el agua, basado en los criterios de Nürnberg y Suecia para su clasificación. El estado trófico de la Laguna es oligotrófico.

El límite estipulado en los criterios de Nürnberg y Suecia para clasificar un cuerpo lacustre como oligotrófico, en función del nitrógeno total, deben ser menores a 0.35 mg/L y 0.40 mg/L respectivamente. Luego de ejecutados los procedimientos correspondientes, el resultado obtenido en el laboratorio para el nitrógeno total fue de 0.33 mg/L, con lo cual se demuestra que la concentración de nutrientes es baja. Por lo anterior el agua de la laguna podría reutilizarse si se le da el tratamiento adecuado, ya que el valor obtenido para el Nitrógeno Total es más bajo que lo establecido en el Acuerdo Gubernativo 236-2006 "Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos", el cual indica que para el reuso del agua el límite máximo permisible para el nitrógeno total es de 10 mg/L.

Palabras clave: Nitrógeno total, muestra compuesta, eutrofización, estado trófico.

Abstract:

This article pretends to raise awareness of the trophic state of the lagoon of Calderas, according to the analysis and results obtained in a 2011 analysis. These analysis was carried out with respect to the level of Total Nitrogen that is dissolved in water, and in accordance with the Nürnberg and Sweden criteria. The trophic state of the Lagoon is Oligotrophic.

According to the Nürnberg and Sweden criteria to classify a body of water as oligotrophic, the provided limit, with respect to total nitrogen, must be less than 0.35mg/L and 0.40mg/L respectively. After completing all the correspondent analyses, the total nitrogen level obtained in the laboratory was 0.33 mg/L, which reveals a low concentration of nutrients. Consequently, the water in the lagoon could be reutilized if treated properly, as the level of total Nitrogen is lower than that stablished in the Governmental Agreement 236-2006 "Regulation for Discharge and Reuse of Wastewater and Sewage Disposition," that states that the permissible water reuse maximum limit for total nitrogen is 10 mg/L.

Key words: Total nitrogen, composite sample, eutrophication, trophic status.

Introducción

La laguna de Calderas está ubicada a 45 minutos de la ciudad capital de Guatemala. Es una microcuenca cerrada, la cual se localiza en la parte media de la cuenca mayor del río María Linda, sobre la vertiente del océano Pacífico. El nitrógeno total es esencial para conocer la calidad de un cuerpo lacustre. Dado que la presencia de este es fundamental para el crecimiento biológico, síntesis de las proteínas y generación de vida acuática.

La evaluación del nitrógeno total en la laguna de Calderas, se utilizó para la clasificación de la misma según su estado trófico, de acuerdo al estándar establecido para este parámetro en los criterios de Nürnberg y Suecia. La metodología implementada para su evaluación abarca desde la visita de campo, la logística para llegar al lugar, la elección de los puntos a muestrear, la toma de muestra y su correcta conservación, manipulación, hasta medición de la misma en el laboratorio.

Para la concepción de esta investigación se realizó una visita preliminar, y luego se determinó que se

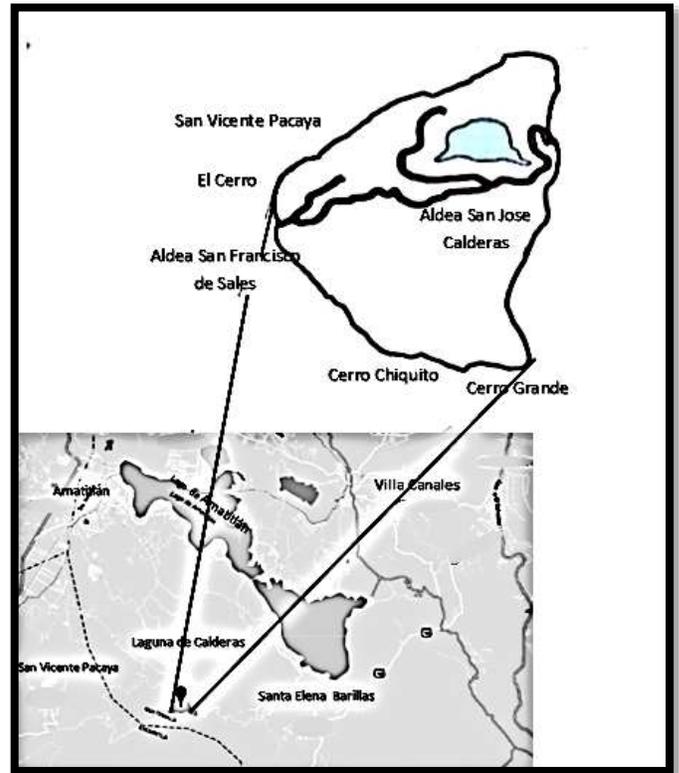
realizarían 10 muestreos y por ende 10 visitas para toma de muestras compuestas *in situ*; para obtener el contenido de nitrógeno total disuelto en el agua. Se tomó en cuenta la época lluviosa y estiaje del año 2011; y luego de efectuados los procedimientos de laboratorio correspondientes, se obtuvo el valor promedio de la concentración del nitrógeno total en las aguas de la laguna de Calderas, el cual es de 0.33 mg/L clasificando la laguna en estado Oligotrófico.

Ubicación de la laguna

La laguna de Calderas está ubicada a 45 minutos de la ciudad capital de Guatemala, y a escasos 5 minutos de las faldas del Volcán de Pacaya se encuentra entre las aldeas San Francisco de Sales y San Jose Calderas como se muestra en la figura 1.

La microcuenca de la laguna de Calderas es cerrada, y se localiza en la parte media de la cuenca mayor del río María Linda, sobre la vertiente del océano Pacífico. La extensión superficial de la microcuenca de la Laguna de Calderas abarca parcialmente las aldeas de San José Calderas del municipio de Amatitlán, departamento de Guatemala, con un área de 4,35 kilómetros cuadrados, que corresponden al 85 % de la microcuenca y la aldea San Francisco de Sales del municipio de San Vicente Pacaya, departamento de Escuintla, con un área de 0,7575 kilómetros cuadrados que corresponden al 15 % restante, en total posee una extensión superficial de 5,11 kilómetros cuadrados, equivalente al 0,18 % del área de la cuenca del río María Linda. La laguna está entre las coordenadas: latitud: 14° 24' 40"; longitud: 90° 35' 25" y cuenta con una extensión de 34,5 hectáreas y una altitud de 1 778 msnm. (García, 2007, p. 28).

Figura 1. Mapa de ubicación de la Laguna de Calderas



Fuente: ING/ Sin Escala

Antecedentes

Los estudios limnológicos en Guatemala han sido objeto de estudio por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), la cual ha estimulado programas de investigación. Se han llevado a cabo dos estudios de la Laguna de Calderas, entre los que están “El análisis de la calidad de agua” publicado en el 2005 en la revista científica Fortaleciendo la Investigación y el “reporte de la Laguna de Calderas” del 6 de junio de 2011. Entre los datos más importantes de estos estudios están los puntos de muestreo, debido a que estos mismos puntos fueron tomados para ambos estudios y para la presente investigación.

Entre los estudios limnológicos donde se ha investigado datos sobre el nitrógeno para distintos cuerpos lacustres se puede mencionar la tesis elaborada por el ingeniero civil Dennis Salvador Argueta Mayorga en el año 2011 identificada como “Caracterización fisicoquímica de la laguna de Ayarza, ubicada entre los municipios de Casillas y San Rafael Las Flores del departamento de Santa Rosa, de la república de Guatemala” en la cual indica que el rango promedio de

nitrógeno total fue de 0.428 mg/L, por lo que para los criterios de Nürnberg y Suecia el nivel trófico de la laguna era Mesotrófico. Así también, la tesis elaborada por el ingeniero civil José Miguel Duarte Díaz en el año 2014 identificada como "Caracterización fisicoquímica del agua de la laguna El Pino, ubicada entre los municipios de Barberena y Santa Cruz Naranjo del departamento de Santa Rosa, de la república de Guatemala", en la cual indican valores para los nitritos de 0,14 mg/L y para los nitratos de 23,19 mg/L.

Así mismo, en las regiones del sur de la provincia de Quebec, Canadá, fueron clasificados 154 lagos según su estado trófico. Para poder realizar esta clasificación se utilizaron criterios como el de la Organización para la Cooperación y Desarrollo (OECD), el de Nürnberg, el de Quebec, el de Canadá y el de Suecia, siendo el más estricto el criterio de Suecia. La mayoría de los lagos clasificados se encontraban en estado Oligotrófico. Es importante mencionar que la clasificación en cuanto al estado trófico de lagos o lagunas es bastante complejo y es por esta razón que los criterios de Nürnberg y Suecia introdujeron para dicha clasificación el parámetro de nitrógeno total. Los valores para esta clasificación se establecen en la tabla No.1.

Tabla 1. Valoración del estado trófico según criterios de Nürnberg y Suecia

Clasificación / Criterio	Nitrógeno Total (mg/L)	
	Nürnberg	Suecia
Oligotrófico	< 0.350	< 0.400
Mesotrófico	0.350-0.650	0.400-0.600
Eutrófico	0.651 - 1,200	0.600-1,500
Hipereutrófico	> 1,200	> 1,500

Fuente: Argueta Mayorga, ERIS. p. 117.

Metodología

Se realizó una visita preliminar a la Laguna, y luego se determinó que se realizarían 10 muestreos y por ende 10 visitas para toma de datos y muestras de agua *in situ*; dicho número se estableció a través del método 1060B indicado en el libro Métodos Normalizados para el Análisis de Agua Potable y Residual (pág. 300). La fórmula utilizada se describe a continuación:

$$N \geq (ts/U)^2$$

Dónde:

N= número de muestras

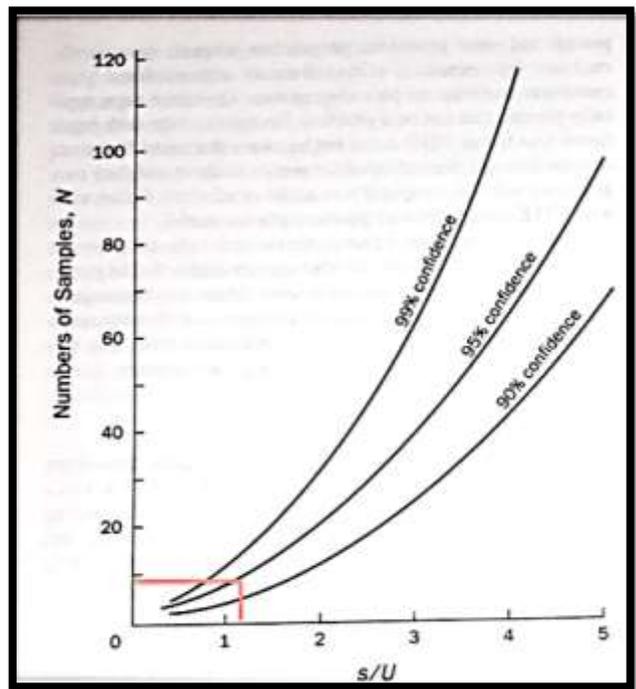
t= t para un nivel de confianza determinado

s= desviación estándar global

U= nivel de confianza aceptable

Se procedió a interpolar en las curvas respectivas para un nivel de confianza del 95 %, y se obtuvo que el número de muestras por tomar debía ser mayor o igual a 9, tal como se observa en la figura 2.

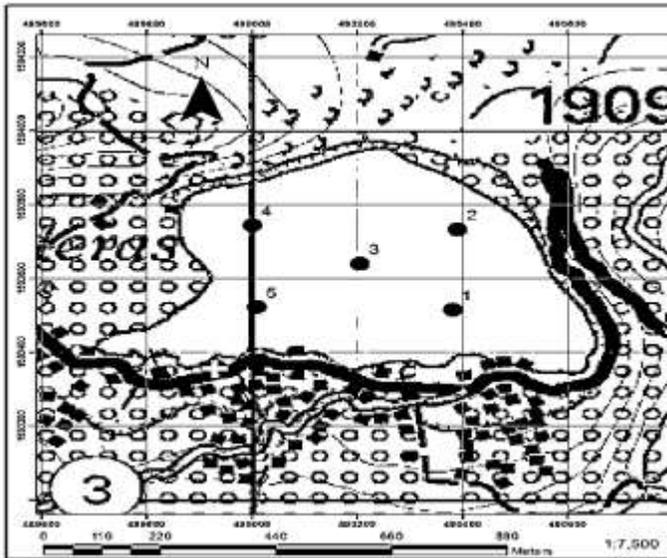
Figura 2. Curva de nivel de confianza



Fuente: standard methods for the examination of water and wastewater, p. 300.

Se analizaron 5 puntos de muestreo de la Laguna. La ubicación se muestra en la figura No. 3; y en la tabla No.2 se indican las coordenadas para cada uno de estos puntos.

Figura 3. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo



En cada visita de toma de muestras se utilizó el siguiente equipo (figura 4):

- ✓ Lancha con remos y chalecos salvavidas.
- ✓ Sistema de posicionamiento global. Marca Garmin, modelo: 62S.
- ✓ Equipo para medir parámetros fisicoquímicos de campo marca: YSI, modelo 556-01.
- ✓ 5 recipientes de un 1 galón cada uno (uno para cada punto de muestreo).

Tabla 2. Coordenadas de los puntos de muestreo

UBICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO		
COORDENADAS GTM, WGS 84		
No.	X	Y
1	490381	1593515
2	490390	1593733
3	490205	1593640
4	490000	1593743
5	490009	153523

LEYENDA

● PUNTOS DE TOMA DE MUESTRA

Diseño: Martínez M.
Fuente: Datos de GPS
Hojas Cartográficas MAGA.
Fecha: mayo de 2014

Figura 4. Equipo Utilizado en la Investigación



Se recolectó muestras en la superficie a 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 metros de profundidad, por cada uno de los 5 puntos de muestreo. Se fue formando una muestra compuesta hasta llegar a los 10 metros, para su análisis posterior de laboratorio. El parámetro químico determinado en el laboratorio fue el nitrógeno total el cual fue obtenido siguiendo el procedimiento indicado en el Manual de Laboratorio de Química del curso de Química y Microbiología del Agua de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS).

Resultados experimentales

Los resultados obtenidos, luego de elaborado el procedimiento correspondiente de laboratorio de cada una de las distintas profundidades, de los 5 puntos evaluados de la laguna de Calderas, se muestran a continuación en las tablas 3, 4, 5, 6, y 7 respectivamente:

Tabla 3. Resultados de Laboratorio del Punto 1

MUESTREO	Turbiedad (UTN)	Color (U)	Nitrógeno Total, N (mg/L)
1	2.20	18.00	0.20
2	1.36	9.00	0.20
3	1.69	5.00	0.90
4	0.94	26.00	0.40
5	1.10	9.00	0.50
6	1.19	6.00	0.20
7	1.19	6.00	0.20
8	1.75	10.00	0.20
9	1.21	5.00	0.70
10	1.75	4.00	0.40
PROMEDIO	1.44	9.80	0.39

Tabla 4. Resultados de Laboratorio del Punto 2

MUESTREO	Turbiedad (UTN)	Color (U)	Nitrógeno Total, N (mg/L)
1	1.76	11.00	0.10
2	1.69	9.00	0.00
3	1.60	5.00	1.00
4	1.07	25.50	0.00
5	1.24	12.00	0.20
6	1.30	4.00	0.20
7	1.30	4.00	0.20
8	1.75	8.00	0.10
9	1.28	5.00	0.60
10	2.30	3.00	0.10
PROMEDIO	1.53	8.65	0.25

Tabla 5. Resultados de Laboratorio del Punto 3

MUESTREO	Turbiedad (UTN)	Color (U)	Nitrógeno Total, N (mg/L)
1	1.91	10.00	0.40
2	3.34	11.00	0.60
3	2.20	8.00	0.40
4	1.07	24.50	0.40
5	0.95	10.00	0.30
6	1.24	5.00	0.20
7	1.24	5.00	0.20
8	1.84	9.00	0.20
9	3.07	6.00	0.20
10	3.81	7.00	0.20
PROMEDIO	2.07	9.55	0.31

Tabla 6. Resultados de Laboratorio del Punto 4

MUESTREO	Turbiedad (UTN)	Color (U)	Nitrógeno Total, N (mg/L)
1	1.69	10.00	0.10
2	2.90	12.00	0.20
3	3.28	7.00	0.90
4	0.97	32.50	0.40
5	1.01	11.00	0.70
6	1.80	4.00	0.20
7	1.80	4.00	0.20
8	2.10	8.00	0.10
9	3.16	5.00	0.30
10	1.30	6.00	0.30
PROMEDIO	2.00	9.95	0.34

Tabla 7. Resultados de Laboratorio del Punto 5

MUESTREO	Turbiedad (UTN)	Color (U)	Nitrógeno Total, N (mg/L)
1	1.77	14.00	0.40
2	2.84	10.00	0.20

MUESTREO	Turbiedad (UTN)	Color (U)	Nitrógeno Total, N (mg/L)
3	1.81	6.00	0.80
4	1.34	28.50	0.80
5	0.91	11.00	0.20
6	1.25	5.00	0.20
7	1.25	5.00	0.20
8	1.34	7.00	0.20
9	1.54	4.00	0.40
10	1.70	5.00	0.20
PROMEDIO	1.57	9.55	0.36

Producto de los resultados obtenidos en los puntos 1, 2, 3, 4 y 5, en la tabla No. 8 se muestra un resumen, con propósito de tener apreciación de la variación del nitrógeno total disuelto en el agua.

Tabla 8. Promedio de Resultados de los 5 puntos de muestreo

PUNTO	Turbiedad (UTN)	Color (U)	Nitrógeno Total, N (mg/L)
Promedio punto 1	1.44	9.80	0.39
Promedio punto 2	1.53	8.65	0.25
Promedio punto 3	2.07	9.55	0.31
Promedio punto 4	2.00	9.95	0.34
Promedio punto 5	1.57	9.55	0.36

En la tabla 9 se muestra el resultado del análisis de los datos obtenidos, mismo que se realizó por medio de estadística inferencial; además se observan los resultados de las medidas de tendencia central y de dispersión, necesarios para la interpretación de los resultados.

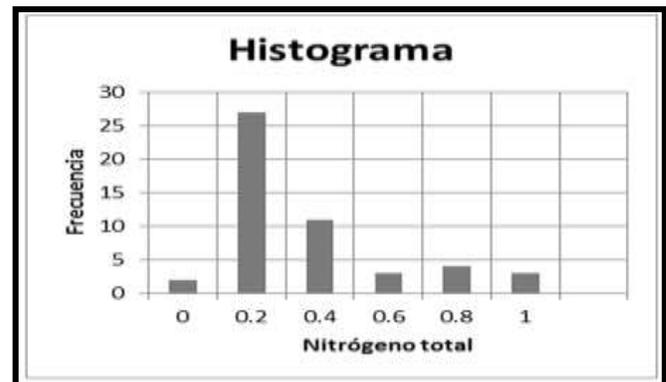
Tabla 9. Resumen estadístico del nitrógeno total

<i>Estadística nitrógeno Total</i>	
Media	0.330
Error típico	0.034
Mediana	0.200

<i>Estadística nitrógeno Total</i>	
Moda	0.200
Desviación estándar	0.243
Varianza de la muestra	0.059
Curtosis	0.822
Coefficiente de asimetría	1.259
Rango	1.000
Mínimo	0.000
Máximo	1.000
Suma	16.50
Datos válidos	50.0

En la figura 5 se muestra el histograma de frecuencias, el cual ilustra la constante con que se repiten los resultados obtenidos y valores estipulados para los criterios de Nürnberg y Suecia.

Figura 5. Histograma de nitrógeno total



Análisis de resultados

Acorde a los resultados obtenidos se demuestra que la laguna de Calderas se encuentra en estado oligotrófico, dado a que conforme a la tabla 8, el nitrógeno total no supera en promedio los 0,35 mg/L para ambos criterios (Nürnberg y Suecia); y que el promedio es de 0,33 mg/L. Es importante hacer notar que en época de lluvia la concentración de nitrógeno total en la laguna

umenta, debido al arrastre de sedimentos de los alrededores.

Al observar el histograma de frecuencias se puede corroborar la afirmación de que el cuerpo lacustre está en estado oligotrófico dado a que la mayor parte de los valores obtenidos se encuentran entre los valores de 0,2 y 0,4 mg/L, lo que reafirma el estado trófico de la laguna de Calderas.

Es importante tomar en cuenta que los valores para este parámetro están bastante bajos, pero la laguna presenta un cuadro crítico debido a que las principales causas antropogénicas de procesos de eutrofización están visibles y latentes, tal es el caso de la descarga de aguas residuales, El uso excesivo de fertilizantes, la deforestación y la erosión de los suelos alrededor de los 5,11 km² de extensión superficial que tiene la Laguna. Por lo que se debe de tomar medidas urgentes para evitar el aumento en la cantidad de Nitrógeno Total disuelto en el agua, que al momento es de 0.33 mg/L y no es difícil imaginar o suponer que en unos años este valor se eleve considerablemente; lo cual será indicador que los nutrientes en el agua se han proliferado.

Conclusiones

Conforme los rangos estipulados del Nitrógeno Total según los criterios de Nürnberg y Suecia <0.35 y <0.40 respectivamente y los resultados obtenidos en promedio de 0.33 mg/L se puede indicar que el nivel trófico de la laguna de Calderas se clasifica dentro del rango del estado oligotrófico.

Acorde al resultado obtenido para el nitrógeno total (0.33 mg/L) y de conformidad con el acuerdo gubernativo 236-2006 de la ciudad de Guatemala, en el cual se establece que para el reuso del agua, el límite máximo permisible para el Nitrógeno Total es de 10 mg/L, se concluye que el agua de la laguna puede ser reutilizada siempre y cuando se le dé el tratamiento adecuado para cada uso.

Acorde a la ubicación de los 5 puntos analizados, los puntos 1 y 5 son los más cercanos a viviendas colocadas alrededor de la laguna, asimismo los resultados obtenidos del nitrógeno total disuelto en el agua para estos puntos son de 0.39 mg/L y 0.36 mg/L respectivamente, por lo que se concluye que los procesos antropogénicos están elevando la concentración de nutrientes en la laguna de Calderas y por ende podrían influir de manera directa en el cambio de clasificación de estado trófico, de oligotrófico a mesotrófico.

Agradecimientos

A la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) y al Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Dra. Alba Estela Tabarini Molina” de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos ERIS, que hicieron posible la elaboración de esta investigación.

Referencias

- Argueta, Dennis. Caracterización fisicoquímica de la laguna de Ayarza, ubicada entre los municipios de Casillas y San Rafael Las Flores del departamento de Santa Rosa, de la República de Guatemala. Tesis Magíster M. Sc. Ingeniería Sanitaria (ERIS) Universidad de San Carlos de Guatemala. 2011. 176 p.
- Castañeda, César. Sistemas lacustres de Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. Editorial Universitaria, 1995. 196 p.
- Cátedra de Limnología. Guía de trabajos prácticos. Departamento de Ecología, Genética y Evolución, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires, Argentina 2006. 159 p.
- López Paredes, Luis Arturo. Estudio limnológico del lago de Guija, determinación de su estado de eutrofización. Tesis de maestría en ciencia y tecnología del medio ambiente. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2008. 87 p.
- Martínez Méndez, Mariano L. A. Caracterización fisicoquímica de la laguna de Calderas, ubicada entre las aldeas de san José Calderas y San Francisco de Sales del municipio de San Vicente pacaya, departamento de Escuintla, de la república de Guatemala. Tesis Magíster M. Sc. Ingeniería Sanitaria (ERIS) Universidad de San Carlos de Guatemala. 2015. 106 p
- Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). Reporte laguna de Calderas. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2011. 27 p

Información del autor:

Ingeniero Civil, Mariano Luis Alberto Martínez Méndez, graduado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad

de San Carlos de Guatemala (USAC) de Guatemala,
en el año 2009.

M. Sc. en Ingeniería Sanitaria de la Escuela Regional
de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, ERIS de
la Universidad de San Carlos de Guatemala.