

# DETERMINACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO DE LA LAGUNA DE AYARZA, UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE SANTA ROSA, REPÚBLICA DE GUATEMALA

Msc. Ing. Dennis Salvador Argueta Mayorga

**RESUMEN.** La laguna de Ayarza, también nombrada "Lago Azul" por el color de sus aguas, se encuentra localizada al Norte del departamento de Santa Rosa (entre los municipios de Casillas y San Rafael Las Flores), a una altitud de 1,409 metros sobre el nivel del mar, tiene una extensión aproximada de 14 Km<sup>2</sup>. Los factores que intervienen en la determinación del estado trófico de un sistema léntico son: transparencia, contenido de fósforo total, nitrógeno total y clorofila. En el desarrollo de esta investigación se realizó la determinación del estado trófico con base, únicamente, en la transparencia y el nitrógeno total. Los valores obtenidos para ambos parámetros fueron comparados con la clasificación del grado de eutrofia de la OCDE (Organización de Cooperación Económica y Desarrollo, según sus siglas en Inglés) y de criterios de grados de eutrofización de Nürnberg y Suecia. De acuerdo con la transparencia promedio de la laguna de Ayarza (5.19 metros) y según la tabla del grado de eutrofia de OCDE se tiene que la laguna está dentro de los límites del estado mesotrófico. Comparando el valor promedio de nitrógeno total (0.60 miligramos/litro) con los criterios de Nürnberg y Suecia, se concluye que la laguna se encuentra ubicada dentro de los límites del estado mesotrófico.

**PALABRAS CLAVE:** Eutrofización, cuerpo léntico, mesotrófico, nitrógeno total, oligotrófico, transparencia del agua, trófico.

**ABSTRACT.** Ayarza lagoon, also named "Blue Lake" for the color that owns, is located north of the Santa Rosa (between the towns of Casillas and San Rafael Las Flores), at an altitude of 1,409 meters on the level the sea and covers about 14 square kilometers. The factors involved in determining the trophic status of lentic system are: water clarity, total phosphorous, total nitrogen and chlorophyll. In the development of this research was conducted the determination of trophic status based solely on water clarity and total nitrogen. The values obtained for both parameters were compared with the classification of the degree of eutrophication of the OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) and criteria for degrees of eutrophication of Nuremberg and Sweden. According to average water clarity of Ayarza lagoon (5.19 meters) and according to the degree of eutrophication table of OECD is that the lagoon is within the mesotrophic state. Comparing the average total nitrogen (0.60 mg / liter) to the criteria of Nuremberg and Sweden concluded that the Ayarza lagoon is located within the mesotrophic state.

**KEYWORDS:** Eutrophication, lentic body, mesotrophic, total nitrogen, oligotrophic, water clarity, trophic.

## INTRODUCCIÓN

La laguna de Ayarza es un área de protección especial (Artículo 90 del decreto número 4-89 "LEY DE AREAS PROTEGIDAS") debido a su flora y fauna que a lo largo y ancho del espejo de agua se reproducen.

En relación con el crecimiento desordenado y acelerado de la población guatemalteca, es evidente que se requiera mayor consumo y uso de recursos naturales para la subsistencia de las personas; el inconveniente es que no se tiene noción sobre cómo administrar dichos recursos, los cuales son fuente de desarrollo, y a la vez sensibles a la actividad humana; llegando incluso a desaparecer o a degradarse si no se hace buen uso de ellos.

Actualmente, no se conoce a profundidad la calidad del agua que contiene la laguna de Ayarza (área de protección especial); por eso es imprescindible dar el primer paso en la generación de información de los parámetros físicos y químicos que ayuden a monitorear con eficiencia la calidad del agua de este cuerpo hídrico.

La palabra eutrofización proviene de las palabras griegas; "eu" que significa bueno y "trofos" que significa alimento. De esta forma, el sentido literal de esta palabra es "rico en alimento" (Rodríguez, 2004). Todos los lagos desarrollan un enriquecimiento natural con el tiempo.

En esta investigación se realizó un análisis del estado trófico actual (2010-2011) de la laguna de Ayarza analizando los parámetros: transparencia y nitrógeno total.

## ÁREA DE ESTUDIO

La laguna de Ayarza se encuentra ubicada entre los municipios de Casillas y San Rafael Las Flores, en el departamento de Santa Rosa, de la República de Guatemala. Se localiza en la latitud 14° 25' 00" y en la longitud 90° 07' 30". Limita al Este y Sureste con el municipio de San Rafael Las Flores y al Norte, Oeste y Suroeste, con el municipio de Casillas. Cabe resaltar que dos terceras partes de la laguna pertenecen al municipio de Casillas y la tercera parte restante pertenece administrativamente al municipio de San Rafael Las Flores.

La depresión que contiene la Laguna de Ayarza (semejante a un ocho), es un cráter del tipo Krakatoa, formado en el Cuaternario (en el último millón de años) cuando las cimas de dos conos volcánicos colapsaron en la medida en que se vaciaban de magma, principalmente por voluminosas erupciones de material piroclástico ácido. (Castañeda 1,995)

El área que cubre la laguna de Ayarza se presenta temperaturas anuales cuyos promedios oscilan entre 17°C y 23°C; así también una precipitación promedio superior a los 1,450 milímetros anuales.

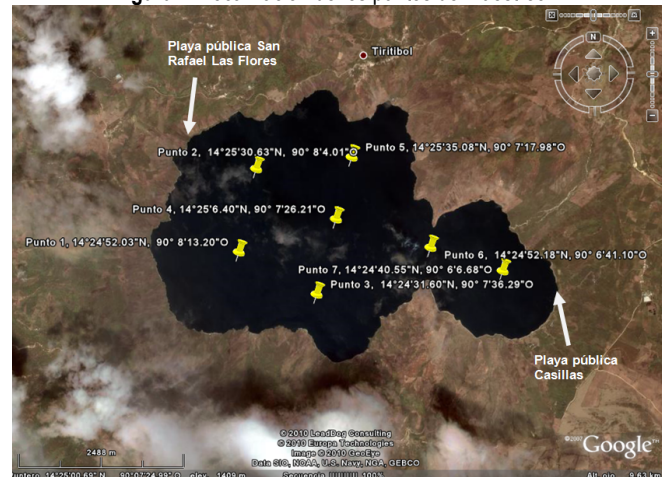
Figura 1. Mapa cartográfico y división administrativa de la laguna de Ayarza



Fuente: Mapa cartográfico 1:50,000 Instituto Geográfico Nacional

El número de réplicas (muestras por estación) depende fundamentalmente de los siguientes tópicos: a) infraestructura, costos, tiempo y personal disponible. b) de la relación número de estaciones-muestras por estación; se debe mantener una representatividad apropiada por estación, pero a la vez con un número adecuado de estaciones para la totalidad del sistema acorde con los costos por muestra, el investigador sopesará por ejemplo si es mejor tomar diez estaciones con cuatro muestras por estación, o siete estaciones con seis muestras. En esta investigación se tomó como referencia 7 puntos geográficos (con la ayuda del software Google Earth®), con 5 réplicas (toma de muestras) para cada punto. En la figura 2 se muestra la distribución de puntos realizados para el desarrollo de la presente investigación.

Figura 2. Localización de los puntos de muestreo



## METODOLOGÍA

### Materiales y equipo.

Para el desarrollo de la presente investigación, fue necesario utilizar materiales y equipos que se describen en la tabla 1.

Tabla 1. Listado de materiales y equipo utilizado en la presente investigación

No.	Descripción
1	Lancha con motor
2	Mapa cartográfico
3	Software Google Earth®
4	Libreta de apuntes
5	G.P.S. (sistema de posicionamiento global)
6	Disco Secchi
7	Envases plásticos estériles
8	Instrumentación de laboratorio
9	Software SURFER®

### Puntos de muestreo y número de muestras.

El punto de muestreo correspondió a un punto geográfico predeterminado, el cual considera el investigador de interés por la incidencia única o conjunta que allí supone de variables ambientales, cuyas magnitudes se espera reflejen una condición particular en la estructura biótica.

### Procedimiento de toma de muestras.

Primero, se contó con una impresión del mapeo de puntos en los cuales se capturaron las muestras. Así mismo, se ingresó en el G.P.S. la información respectiva de cada punto, para crear rutas a seguir y ubicar los puntos en campo (llegando a cada punto, a través de una lancha con motor).

Un punto esencial, es que las muestras deben ser lo más homogéneas y representativas posible, y que en el momento de la extracción no se modifiquen las propiedades del agua que será analizada.

Se captó el agua en recipientes estériles de 1 galón, destapándolos y llenándolos rápidamente, sumergiéndolos a una profundidad de entre 20 y 30 centímetros. Las muestras se tomaron en sentido contrario a la orientación de la corriente del lago. Inmediatamente se llenaron los recipientes, se taparon y se analizaron

en menos de 24 horas, en el “Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Dra. Alba Tabarini”, para obtener datos más confiables.

### Procedimiento general de obtención de resultados.

**Transparencia del agua.** Cada vez que se llegaba a un punto de muestreo, simultáneamente, se sumergía un disco Secchi, el cual consiste en un disco de 20 centímetros de diámetro, dividido en cuadrantes pintados alternadamente de negro y blanco, atado a una cuerda graduada.

Figura 3. Disco Secchi utilizado para medición de transparencia



El disco se sumergió del lado sombreado de la lancha hasta que deja de verse, se registró la profundidad y volvió a subirse hasta que nuevamente se hizo visible.

Luego se promediaron estas dos medidas (desaparición del disco descendiendo y aparición en ascenso) para obtener una medida dependiente de la transparencia del agua.

**Nitrógeno total.** En el caso de la medición de nitrógeno total, se siguió el procedimiento establecido en el manual de pruebas de laboratorio respectivo. Los datos de transparencia y de nitrógeno total fueron tabulados en hojas de cálculo y luego se realizaron gráficas para analizar la variabilidad de los parámetros medidos, en diferentes puntos de la laguna.

Se realizaron isogramas y se compararon los resultados obtenidos con los valores recomendados en las tablas de la OCDE y de los criterios de Nürnberg y Suecia.

## RESULTADOS

Los resultados de las mediciones de la transparencia del agua fueron tomados directamente en campo con la ayuda de un disco Secchi. Se anotaron los datos en unas boletas especiales y luego fueron transcritos a una hoja de cálculo, en donde se realizaron diferentes operaciones para determinar promedios, desviación estándar de los datos, gráficas, etcétera.

A continuación se muestra una tabla que representa los valores promedio de los datos obtenidos en campo, relativos a la transparencia del agua:

Tabla 2. Transparencia promedio de la laguna de Ayarza, para diferentes puntos muestreados (en metros)

PUNTO	muestreo 1	muestreo 2	muestreo 3	muestreo 4	muestreo 5	Promedio
1	1.1	5.75	6	4.8	6.8	4.89
2	1	6.75	6	5.4	7.3	5.29
3	1	6.7	6.5	5.4	7.3	5.38
4	1	6	6.5	5.3	7.25	5.21
5	1	6.8	6.6	5	6.3	5.14
6	1	7	7.25	4.7	6.5	5.29
7	0.9	6.5	6.5	5	6.6	5.1

Cabe hacer mención sobre las fechas en las que se realizaron los muestreos en la laguna y las tomas de datos de transparencia del agua. Respectivamente, los días de muestreo fueron: 10/10/2010, 25/11/2010, 05/12/2010, 16/01/2011, 06/02/2011.

En cuanto a los resultados obtenidos en el laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Dra. Alba Tabarini” de la Universidad de San Carlos de Guatemala, analizando las muestras captadas en un lapso no mayor a 24 horas después de recolectadas, se tienen los valores de nitrógeno total que se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Valores promedio obtenidos, de nitrógeno total

Punto muestreado	Coordenadas		Promedio nitrógeno total (mg/L)
	Latitud	Longitud	
PUNTO 1	14°24'52.03"	90°8'13.20"	0.38
PUNTO 2	14°25'30.63"	90°8'04.01"	0.425
PUNTO 3	14°24'31.60"	90°7'36.29"	0.475
PUNTO 4	14°25'06.40"	90°7'26.21"	0.43
PUNTO 5	14°25'35.08"	90°7'17.98"	0.4
PUNTO 6	14°24'52.18"	90°6'41.10"	0.55
PUNTO 7	14°24'40.55"	90°6'06.68"	0.35

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

**Transparencia.** Como se puede observar en la tabla 2, en los valores obtenidos de transparencia, existe una gran variación entre los datos del primer muestreo y los cuatro muestreos siguientes, lo cual conlleva a que el promedio de mediciones disminuya y la desviación estándar de los valores sea un valor relativamente alto. Para este caso, se tiene una desviación estándar de los datos correspondiente a 2.02 metros.

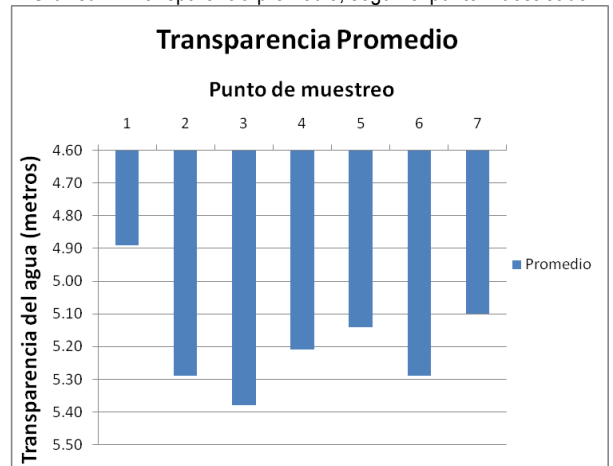
Para lograr determinar qué pudo haber influido en el primer muestreo, donde se detectaron valores relativamente bajos de transparencia; se procedió a investigar aspectos climatológicos de la zona en estudio (INSIVUMEH, 2010).

Previo a describir las situaciones climatológicas que se presentaron en el área de la laguna de Ayarza para el primer muestreo, es importante hacer mención que según información recabada para la presente investigación, y con el afán de determinar qué pudo haber influenciado para un valor pequeño de la transparencia en todos los puntos muestreados durante la primer visita, se dice que existen otros factores (aparte de sólidos presentes en el cuerpo de agua o materia orgánica) que determinan la transparencia de las aguas. Estos factores son: la intensidad luminosa, el porcentaje de nubosidad, el ángulo de incidencia de la luz en la superficie del agua y el grado de agitación del agua (velocidad del viento).

El primer muestreo se realizó en el mes de octubre de 2010; para ese mes se registraron pocas horas de brillo solar en relación con los meses siguientes (noviembre a febrero), que fueron las siguientes fechas de toma de muestras. Además, la época lluviosa de Guatemala según registros históricos se presenta de los meses de mayo a octubre, por lo que la nubosidad y precipitación impedían obtener una buena visibilidad del disco Secchi, y de esa forma, registrar un valor que se asemeja a la realidad.

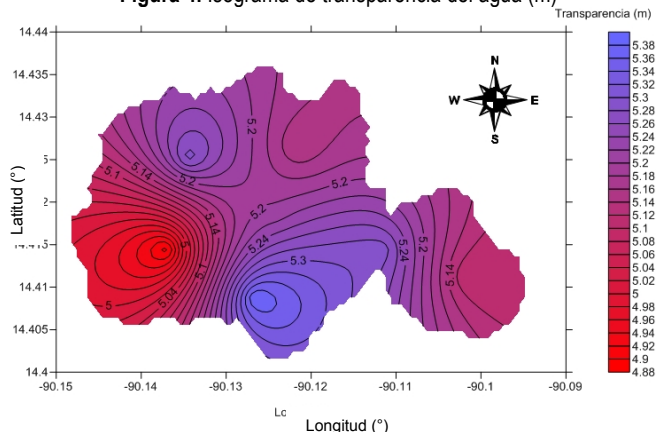
Con los datos recabados en campo durante las 5 visitas establecidas para toma de muestras y mediciones in situ, se establece el siguiente perfil que muestra la variación de transparencia entre los puntos muestreados:

Gráfica 1. Transparencia promedio, según el punto muestreado



A continuación se muestra el isograma que representa la variabilidad de transparencia dentro del perímetro de la laguna de Ayarza:

Figura 4. Isograma de transparencia del agua (m)



El agua desde el punto de vista de la transparencia del agua, demuestra que se encuentra dentro de los límites del estado mesotrófico, según se muestra a continuación:

**Tabla 4.** Grado de eutrofia de la laguna de Ayarza, comparando el valor promedio con los valores de la clasificación de la OCDE

Grado de eutrofia	unidad Secchi (m)	
Ultraoligotrófico	> 12	
Oligotrófico	12 - 6	
Mesotrófico	6 - 3	*
Eutrófico	3 - 1.5	
Hipereutrófico	< 1.5	

**Nitrógeno total.** Los valores de nitrógeno total, como se puede observar en la tabla 3, son valores que no superan los 0.60 miligramos por litro (en promedio), lo cual se puede traducir en que la laguna de Ayarza presenta un número no muy grande de nutrientes. El proceso de eutrofización de un cuerpo de agua, generalmente se basa en la cantidad de nutrientes (principalmente fósforo y nitrógeno). A continuación se presentan dos tablas que relacionan el nivel de eutrofización, con la cantidad de nitrógeno total presente en la laguna de Ayarza:

**Tabla 5.** Comparación de valores de nitrógeno total según criterios de Nürnberg

Estado trófico	Nitrógeno total (mg/L)	Investigación
Oligotrófico	< 0.350	
Mesotrófico	0.350 - 0.650	*
Eutrófico	0.651 - 1.200	
Hipereutrófico	> 1.200	

**Tabla 6.** Comparación de valores de nitrógeno total según criterios de Suecia

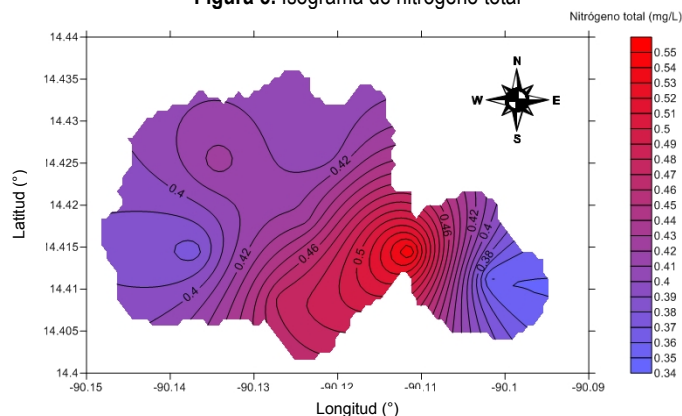
Estado trófico	Nitrógeno total (mg/L)	Investigación
Oligotrófico	< 0.400	
Mesotrófico	0.400 - 0.600	*
Eutrófico	0.600 - 1.500	
Hipereutrófico	> 1.500	

El valor promedio de todas las mediciones de nitrógeno total es de 0.429 miligramos por litro, el cual comparándolo con las tablas 5 y 6, se determina que el nivel trófico de la laguna de Ayarza está en el rango de estado mesotrófico.

Esto quiere decir que la laguna de Ayarza se encuentra en proceso de eutrofización (dicho proceso puede durar miles de años), pero hay que poner mucha atención a este parámetro (nitrógeno total) para que se evite una contaminación relativamente efímera, que acabe con la flora, fauna y belleza característica de este cuerpo de agua.

El siguiente isograma presenta la forma en la cual se encuentran los niveles de nitrógeno total a lo largo y ancho de la laguna de Ayarza:

**Figura 5.** Isograma de nitrógeno total



En la figura 5 se puede notar que la mayor concentración de nitrógeno total se da en la unión de los dos conos que forman la laguna de Ayarza. La actividad ganadera y de siembra se da en las orillas de la laguna que se ubican en las partes aledañas al punto céntrico de la laguna.

## CONCLUSIÓN

El nivel trófico de la laguna, analizando la transparencia del agua y el contenido de nitrógeno total, se concluye que está dentro del rango de estado mesotrófico.

## RECOMENDACIONES

1. Para el control y monitoreo confiable por parte de los especialistas en Limnología, es de suma importancia generar registros estadísticos respecto de la variabilidad de los parámetros físicos (color, turbiedad, temperatura, entre otros) y parámetros químicos (fósforo total, nitrógeno total, nitritos, nitratos, cloruros, entre otros) que reflejen la calidad del agua de las muestras recolectadas y analizadas de un cuerpo de agua.
2. A las autoridades encargadas del manejo sostenible de la cuenca de la laguna de Ayarza, se recomienda planificar y gestionar en forma adecuada el uso del suelo de las microcuencas que contiene la laguna de Ayarza, ya que por irrigación y erosión se puede contaminar con exceso de nutrientes, el agua contenida dentro de la laguna.

3. Previo a dar un dictamen oficial sobre el estado trófico de la laguna, se recomienda que se realicen los análisis de clorofila y fósforo total con métodos que logren detectar valores reales (en este caso, valores bajos) del contenido de estos parámetros que no fueron determinados en esta tesis.

4.

5. Es importante darle seguimiento a los parámetros evaluados en esta tesis, para que exista un monitoreo continuo que permita generar modelos bastante confiables para predecir el comportamiento de la laguna de Ayarza en situaciones extremas o fuera de lo común.

## REFERENCIAS

- CARDONA MATTA, JOSÉ GUILLERMO. Muestreo de la calidad ambiental de la playa pública del lago de Amatitlán. Tesis de maestría en Ingeniería Sanitaria, Universidad de San Carlos de Guatemala, Escuela Regional de Ingeniería Sanitar y Recursos Hidráulicos (ERIS), Facultad de Ingeniería: 1985.
- CASTAÑEDA SALGUERO, CÉSAR. Sistemas lacustres de Guatemala. Recursos que mueren. Guatemala: Editorial Universitaria, Primera edición, 1995.
- CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA. "Análisis Inventarial Primario de las Investigaciones Limnológicas realizadas por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria", Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1980.
- CRITES, RON. GEORGE TCHOBANOGLIOUS. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Colombia: Editorial McGraw-Hill, 2000.
- ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA. "Eutrofización del Lago de Amatitlán", Informe Final, págs. 4-6, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1981.
- ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y RECURSOS HIDRÁULICOS, "Importancia de la Ingeniería Sanitaria frente a los problemas limnológicos de un país". Taller No. 3, Calidad del Agua, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1983.
- FLORES REYES, CLAUDIA MARINA. "Campamento ecoturístico" en la laguna de Ayarza, Casillas, Santa Rosa. Tesis de Arquitectura. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Arquitectura, 2005.
- GALVEZ-CLOUTIER & ROSA. MICHELLE SANCHEZ Trophic status evaluation for 154 lakes in Quebec, Canada: monitoring and recommendations. Civil Engineering Department, Laval University, Canadá, 2007.
- GARCÍA MARTÍNEZ, LUIS E., "Reconocimiento Limnológico del Lago de Amatitlán", Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1968.
- 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. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2008.
- MARROQUÍN GUERRA, ESTRELLA DE LOURDES. Determinación de variables físicas, químicas y biológicas del recurso hídrico de la laguna De Calderas. Tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2008.
- METCALF & EDDY, INC. Ingeniería de aguas residuales; tratamiento, vertido y reutilización. México: Editorial McGraw-Hill, tercera edición, 1996.
- MORENO FRANCO, PAOLA, JACQUELINE QUINTERO Y ARMANDO LÓPEZ. Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. Artículo científico, 2010.
- MUCH SANTOS, ZENÓN. Manual de laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria. USAC, Guatemala, 2009.
- MURTEL BRANCO, SAMUEL. Limnología sanitaria, estudio de la polución de aguas continentales. Estados Unidos: Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos, 1984.
- RAMÍREZ GONZÁLEZ, ALBERTO y Gerardo Viña. LIMNOLOGÍA COLOMBIANA, aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis. Primera edición. Colombia: PANAMERICANA formas e impresos S.A. 1998.
- SARAVIA CELIS, PEDRO. Contaminación del agua. Guatemala: Primera edición, 2007.
- TETZAGUIC CAR, CARLOS ENCARNACIÓN. Sistematización de la información de calidad del agua del lago de Amatitlán con parámetros que determinan su contaminación secuencial. Tesis de Maestría en Ingeniería Sanitaria, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2003.