UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE CIENCIAS MÉDICAS

“FLORECIMIENTO DE CIANOBACTERIA EN LAS AGUAS DEL LAGO DE ATITLÁN Y SU IMPACTO EN LA SALUD DE LA POBLACIÓN”

Estudio ecológico retrospectivo realizado en las poblaciones de San Lucas Tolimán, Santiago Atitlán y San Pedro la Laguna, 2011-2014

Tesis

Presentada a la Honorable Junta Directiva

de la Facultad de Ciencias Médicas de la

Universidad de San Carlos de Guatemala

Carlos Raúl Zapeta Zavala

Médico y Cirujano

Guatemala, octubre de 2019

El infrascrito Decano y el Coordinador de la Coordinación de Trabajos de Graduación –COTRAG-, de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de San Carlos de Guatemala, hacen constar que:

El bachiller:

1. CARLOS RAÚL ZAPETA ZAVALA 200510241 2351567950704

Cumplió con los requisitos solicitados por esta Facultad, previo a optar al título de Médico y Cirujano en el grado de licenciatura, y habiendo presentado el trabajo de graduación titulado:

"FLORECIMIENTO DE CIANOBACTERIA EN LAS AGUAS DEL LAGO DE ATITLÁN Y SU IMPACTO EN LA SALUD DE LA POBLACIÓN"

Estudio ecológico retrospectivo realizado en las poblaciones de San Lucas Tolimán, Santiago Atitlán y San Pedro La Laguna, 2011-2014

Trabajo asesorado por la Dra. Aída Guadalupe Barrera Pérez, co-asesorado por el Dr. Dennis Guerra Centeno, Dra. Margaret Ann Dix y revisado por la Dra. Claudia Regina Calvillo Paz, quienes avalan y firman conformes. Por lo anterior, se emite, firman y sellan la presente:

ORDEN DE IMPRESIÓN

En la Ciudad de Guatemala, el catorce de octubre del dos mil diecinueve

César O. García G.
Doctor en Salud Pública
Colegiado 5,950

USAC
Facultad de Ciencias Médicas
Coordinación de Trabajos de Graduación
COORDINADOR

Dr. C. César Oswaldo García García
Coordinador

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS MÉDICAS
Dr. Jorge Fernando Orellana Oliva
DECANO

Vo.Bo.
Dr. Jorge Fernando Orellana Oliva
Decano

El infrascrito Coordinador de la COTRAG de la Facultad de Ciencias Médicas, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, HACE CONSTAR que el estudiante:

1. CARLOS RAÚL ZAPETA ZAVALA 200510241 2351567950704

Presentó el trabajo de graduación titulado:

"FLORECIMIENTO DE CIANOBACTERIA EN LAS AGUAS DEL LAGO DE ATITLÁN Y SU IMPACTO EN LA SALUD DE LA POBLACIÓN"

Estudio ecológico retrospectivo realizado en las poblaciones de San Lucas Tolimán, Santiago Atitlán y San Pedro La Laguna, 2011-2014

El cual ha sido revisado por la Dra. Aída Guadalupe Barrera Pérez, y al establecer que cumple con los requisitos establecidos por esta Coordinación, se le AUTORIZA continuar con los trámites correspondientes para someterse al Examen General Público. Dado en la Ciudad de Guatemala, a los catorce días de octubre del año dos mil diecinueve.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Aída G. Barrera P.
MSc en Alimentación y Nutrición
Col. 11596

USAC
TRICENTENARIA
Facultad de Ciencias Médicas
Coordinación de Trabajos de Graduación
COORDINADOR

Dra. Aída Guadalupe Barrera Pérez
Profesora Revisora

César O. García G.
Doctor en Salud Pública
Colegiado 5,950

Vo.Bo.
Dr. C. César Oswaldo García García
Coordinador

Guatemala, 14 de octubre del 2019

César Oswaldo García García
Coordinado de la COTRAG
Facultad de Ciencias Médicas
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Dr. García:

Le informo que yo:

1. CARLOS RAÚL ZAPETA ZAVALA

Presenté el trabajo de graduación titulado:

"FLORECIMIENTO DE CIANOBACTERIA EN LAS AGUAS DEL LAGO DE ATITLÁN Y SU IMPACTO EN LA SALUD DE LA POBLACIÓN"

Estudio ecológico retrospectivo realizado en las poblaciones de San Lucas Tolimán, Santiago Atitlán y San Pedro La Laguna, 2011-2014

Del cual la asesora, co-asesores y la revisora se responsabilizan de la metodología, confiabilidad y validez de los datos, así como de los resultados obtenidos y de la pertinencia de las conclusiones y recomendaciones propuestas.

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIA ANIMAL Y ECOSALUD
USAC

FIRMAS Y SELLOS PROFESIONALES

Aída G. Barrera Pérez
MSc en Alimentación y Nutrición
Col. 11596

Asesora:	Dra. Aída Guadalupe Barrera Pérez
Co-asesores:	Dr. Dennis Guerra Centeno
	Dra. Margaret Ann Dix
Revisora:	Dra. Claudia Regina Calvillo Paz
	Reg. de personal 20100547

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA 1966

Claudia R. Calvillo Paz
Doctora en Salud Pública
Colegiado EL-021

USAC
Facultad de Ciencias Médicas
Coordinación de Trabajos de Graduación
COORDINADOR

Vo.Bo.
Dr. César Oswaldo García García, Coordinador

AGRADECIMIENTOS

A mi alma mater:

Universidad San Carlos de Guatemala por permitirme alcanzar la educación superior y formar parte de ella.

Facultad de Ciencias Médicas por ser parte de mi segunda casa de formación y proveer todos los conocimientos necesarios para mi formación como profesional.

A pacientes en el anonimato:

Todos y cada uno de esos pacientes que por necesidad de atención a su integridad física, mental y/o psicológica, acudieron a los distintos centros de servicios de salud de la red nacional de Salud de Guatemala durante mis años de preparación y que fueron como mis libros abiertos para la preparación, comprensión y aprendizaje de mi profesión.

A mi revisora:

Doctora. Aida Barrera Pérez

Doctor Cesar Oswaldo García García

A mi asesora:

Doctora Claudia Regina Calvillo Paz

A mis co-asesores:

Doctora Margaret Ann Dix (Limnología)

Doctor Dennis Guerra Centeno (ECOSALUD-USAC)

DEDICATORIA

A DIOS: Porque definitivamente esta es una prueba indubitable de que su amor y misericordia es infinita. Porque a pesar de lo humano que he sido, él sigue siendo fiel, porque sus tiempos son perfectos y su voluntad siempre será buena, agradable y perfecta. Sin lugar a dudas la vida no depende del que quiere o del que corre sino de quien Él tenga misericordia, porque Él es quien da el querer como el hacer y esto por su buena voluntad.

A MI ESPOSA: Gracias por tu apoyo en todo momento, por aguantar vivir junto a un profesional de la salud, sé que no es fácil, pero gracias por tu comprensión. Sé que vienen tiempos mejores y que los disfrutaremos al máximo al lado de nuestros hijos. TE AMO.

A MIS HIJOS: Carlos Daniel, Bella Dulce Daniela y Camila Sofía, gracias porque fueron mis motores impulsores que durante esas noches de desvelo, días de posturno, meses de arduo trabajo y cuando ya el madrugar y volver al trajín de un estudiante, externo o interno y aún en el EPS (lejos de casa) se volvía una ardua, dura y difícil tarea que cumplir, el pensar en ustedes me hacía retomar nuevas fuerzas para poder continuar y no abandonar. LOS AMO CON TODO MI CORAZÓN MIS AMORES.

A MI MADRE: Mami gracias porque por fin llegó el día de gritarle al mundo entero que el amor de una madre va más allá del entendimiento humano, porque cuando la vida te dio la espalda y cuando pensaste que ya el sol no iba brillar más para ti, hubo un Dios que te tomó como su esposo, él fue tu Hacedor y como a mujer abandonada y afligida de espíritu te llamó el Señor, como a esposa de la juventud que es repudiada y te dijo: “No temas, pues no serás avergonzada; ni te sientas humillada, pues no serás agraviada; sino que te olvidarás de la vergüenza de tu juventud, y del oprobio de tu viudez no te acordarás más, y aún tus hijos serán enseñados por Jehová”. GRACIAS MAMITA POR NO ABANDONAR ESAS PROMESAS.

A MI PADRE: Aunque a la distancia durante todo este proceso, hoy veo cumplir uno de mis deseos que en intimidad lloraba como un niño en los brazos de Papá: que me concediera el privilegio de honrarte con este logro. Te amo Daddy.

A MIS HERMANOS: Tía Nany y tío Chatol, gracias por estar siempre a mi lado. Gracias porque sé que en todo momento estuvieron pendientes de este triunfo. Los amo.

A MI PASTOR: Daniel Joj, gracias por su apoyo espiritual, gracias por sus oraciones, porque sé que cuando por razones personales nosotros desmayábamos usted estuvo ahí apoyándonos en oración para que no nos extraviáramos, gracias por su papel en el redil, pero sobre todo muchas gracias por permitirme ser parte de su familia y porque sé que su preocupación y mayor felicidad (no son estos triunfos humanos) es que todos juntos en la familia podamos ser parte de ese remanente que un día será quitado de en medio de la humanidad, sé que ese es su mayor satisfacción que lograr con todos y cada uno de nosotros. Sé que su esmero en oración es por este objetivo, muchas gracias por velar por dicho propósito. Gracias por enseñarme que de nada le sirve al hombre ganarse el mundo entero y perder su alma. Gracias por enseñarme que todo éxito se logra de rodillas y que toda decisión se toma con la guianza del Espíritu Santo. Esta investigación es parte de ello.

Responsabilidad del trabajo de graduación

El autor o autores es o son los únicos responsables de la originalidad, validez científica, de los conceptos y de las opiniones expresadas en el contenido del trabajo de graduación. Su aprobación en manera alguna implica responsabilidad para la Coordinación de Trabajos de Graduación, la Facultad de Ciencias Médicas y para la Universidad de San Carlos de Guatemala. Si se llegará a determinar y comprobar que se incurrió en el delito de plagio u otro tipo de fraude, el trabajo de graduación será anulado y el autor o autores deberá o deberán someterse a las medidas legales y disciplinarias correspondientes, tanto de la Facultad, de la Universidad y otras instancias competentes.

RESUMEN

OBJETIVO: Analizar la relación existente entre el florecimiento de cianobacteria en las aguas del Lago Atitlán y la morbilidad registrada en los servicios de los puestos salud de San Lucas Tolimán, Santiago Atitlán y San Pedro la Laguna del departamento de Sololá durante los florecimientos reportados desde el año 2011 a 2014. **POBLACIÓN Y MÉTODOS:** Estudio ecológico retrospectivo, se incluyó la totalidad (N= 138,040) de morbilidades que cumplieron los criterios de selección, y las 391 concentraciones cianobacterianas; se efectuó análisis descriptivo. **RESULTADOS:** Santiago Atitlán 61,995 casos y 53 florecimientos, San Lucas Tolimán 60,554 casos y 26 florecimientos, San Pedro la Laguna 15,491 casos y 38 florecimientos; un total de 117 (29.92%) florecimientos; florecimiento *Limnoraphis* en San Pedro la Laguna 97.36%, en Santiago Atitlán 77.35%, San Lucas Tolimán 100%; morbilidades respiratorias 84,346 (61.10%), gastrointestinales 24,465 (17.72%), alérgicas 17,601 (12.75%) y dermatológicas 11,628 (8.42%). Correlación baja en San Pedro la Laguna en 2011 (*rho*= 0.21; valor-p 0.51) y media en el 2013 (*rho*= 0.37; valor-p 0.23); correlación baja en San Lucas Tolimán, 2011 (*rho*= 0.26; valor-p 0.42) y media en 2012 (*rho*= 0.16; valor-p 0.62); correlación media en Santiago Atitlán, 2013 (*rho*= 0.37; valor-p 0.23). **CONCLUSIONES:** Predomina el género *Limnoraphis Robusta,* San Pedro la Laguna presenta mayor demanda en consulta de morbilidades durante los años 2011 y 2014, Santiago Atitlán en 2012 y 2013 y San Lucas Tolimán 2013 y 2014, las morbilidades respiratorias son la más frecuentes y existe correlación entre los florecimientos cianobacterianos y las morbilidades consultadas aunque no es significativa.

Palabras Clave: Cianobacterias, cyanobacterias, fitoplancton, impacto ambiental, salud.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN..... 1
2. MARCO DE REFERENCIA..... 5
2.1 Marco de antecedentes..... 5
2.2 Marco teórico..... 9
2.3 Marco conceptual..... 11
2.4 Marco demográfico..... 29
2.5 Marco geográfico..... 30
2.6 Marco institucional..... 30
2.7 Marco legal..... 31
3. OBJETIVOS..... 33
3.1 Objetivo general..... 33
3.2 Objetivos específicos..... 33
4. HIPÓTESIS..... 35
5. POBLACIÓN Y MÉTODOS..... 37
5.1 Enfoque y diseño de la investigación..... 37
5.2 Unidad de análisis y de información..... 37
5.3 Población y muestra..... 37
5.4 Selección de sujetos a estudio..... 37
5.5 Definición y operacionalización de variables..... 38
5.6 Recolección de datos..... 39
5.7 Procesamiento y análisis de datos..... 40
5.8 Alcances y límites de la investigación..... 43
5.9 Aspectos éticos de la investigación..... 45
6. RESULTADOS..... 47
7. DISCUSIÓN..... 75
8. CONCLUSIONES..... 81
9. RECOMENDACIONES..... 83
10. APORTES..... 85
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 87
12. ANEXOS..... 95

1. INTRODUCCIÓN

El medio ambiente por años ha sido puntualmente definido como el conjunto de factores biológicos y no biológicos (aéreos, terrestres y acuáticos) los cuales rodean a un ser vivo y contribuyen a su completo desarrollo. Uno de estos factores muy importantes, es el agua (desde el punto de vista medio ambiente como biológico), ya que éste líquido compuesto por dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno, es el principal componente del cuerpo humano (60%). [1] Se sabe que éste no solamente forma parte de nuestra biología molecular sino que también es parte importante del entorno en el que vivimos, no solo para los seres humanos, sino para todo ser vivo que tiene como base molecular dichos átomos.

Debido a que a este recurso hídrico se le da múltiples usos en la vida diaria (consumo humano, limpieza personal, agua para beber, agricultura, industria, recreación, entre otros), es importante determinar la calidad de agua a la constantemente estamos expuestos, ya que este puede estar contaminado con microorganismos patógenos tales como bacterias, virus, parásitos, o sustancias tóxicas que pueden ocasionar morbilidades importantes, que de no intervenir oportunamente pueden conducirnos hasta la muerte. [2]

A nivel mundial se sabe que muchos de estos microorganismos proliferan gracias al mal cuidado o al mal trato que se le da a este recurso hídrico (tanto para los mantos de agua dulce como para los cuerpos de agua salada). El deterioro del ecosistema lumínico producto de la mano del hombre ha enriquecido los mantos acuáticos con contaminantes altamente cargados de fosforo y nitrógeno (eutrofización cultural), lo que ha conducido a que microorganismos proliferen en sus aguas. Uno de ellos y que es objeto del presente estudio son las cianobacterias; estas alcanzan niveles alarmantes de concentración cuando suceden cambios en el aporte de nutrientes en los mantos acuáticos (nitrógeno y fosforo) a los que se les conoce como florecimiento de cianobacterias. [3]

Las cianobacterias llegan a ser perjudiciales a la salud de quienes se sirven de aguas eutrofizadas cargadas de florecimientos, por sus mecanismos tóxicos dependientes de sus cianotoxinas (*Microcistina,* las más comunes y tóxicas) y/o por sus metabolitos tóxicos. De ellos se han aislado más de 90 variantes en sus cianotoxinas siendo la más frecuente y tóxica la *MC-LR*.[4] Llegando a ser verdaderamente un problema ambiental y de salud pública al presentarse florecimientos potencialmente tóxicos.

Diferentes estudios demuestran cómo éstos afectan la salud humana y animal cuando se utilizan las aguas ricas en florecimientos. Así En América del Norte, (Canadá 2013 y New Jersey 2014-2016), se demostró relación directa entre el consumo de aguas contaminadas con cianobacterias y signos y síntomas que aluden a su cianotoxicidad (vómitos, cefaleas, nauseas, dolor abdominal, fiebre, dolor muscular, irritación de ojos y otalgia), así como la presencia de metabolitos tóxicos respectivamente. [5, 6, 7] En Asia (2014), se dilucidó el riesgo latente para la salud por *cianotoxinas* causantes de células tumorales en pulmones humanos así como productoras de potentes aminoácidos neurotóxicos. [8] En Francia (2003), hubo decenas de muertes rápidas caninas por neurotoxicosis, como consecuencia del consumo de aguas contaminadas con cianobacterias. [9] En España (2016), se determinó el riesgo potencial de hepatotoxicidad por la presencia de cianobacterias en florecimientos reportados.[10] En Centro América (El Salvador, 2013), se determinó el riesgo para la salud que el agua potable de la región presentaba, por contaminación de cianobacterias y sus posibles cianotoxinas y metabolitos toxicos.[11] Así mismo, en Guatemala para el año 2014 y 2015, se comprobó la presencia de *cianotoxinas* hepatotóxicas en productos vegetales de plantaciones que fueron irrigadas con aguas contaminadas de cianobacterias, así como el riesgo de coexistir metabolitos tóxicos en las aguas del Lago de Amatitlán y del Lago Atitlán que ponen en riesgo la salud de la población.[12, 13, 14] Todo ello evidencia su alto riesgo de hepatotoxicidad, neurotoxicidad, carcinogenicidad, y alteración del sistema inmunológico al desarrollar procesos de hipersensibilidad en sistema respiratorio, gastrointestinal y dermatológico.

En Guatemala específicamente en el departamento de Sololá y Lago de Atitlán, no se cuenta con estudios específicos de la toxicidad de sus aguas por cianotoxinas o por metabolitos tóxicos de cianobacterias, ni tampoco del impacto en la salud de las personas que tienen alguna relación con el vital líquido expuesto a florecimientos cianobacterianos (signos y síntomas que estos microorganismos pudieran desencadenar). El único estudio que abordó dicho tópico (cianotoxinas y metabolitos) no presentó muestreos en los puntos de referencia del lacustre concernientes a esta investigación, así como los datos recabados que fueron únicamente en dos momentos del año donde no se habían reportado florecimientos de cianobacterias, [14] por lo que no se cuenta con un antecedente exacto del riesgo latente para la salud de la población que se abastece de sus aguas, así como para su biodiversidad que también forma parte de la gastronomía característica de la región.

Con base a lo anterior es importante contar con un sistema estandarizado de tamizaje de esta variable en períodos de florecimiento y no florecimiento de cianobacterias, así como la indexación, caracterización clínica y epidemiológica oportuna de pacientes que consultan por enfermedades varias en los servicios de salud nacionales como los de la iniciativa privada.

Consecuente a la escueta y nula información que se tiene respecto a las concentraciones cianobacterianas y su impacto en la salud de la población que habita en la cuenca del Lago de Atitlán, surge la interrogante: ¿Existe alguna relación entre los florecimientos de cianobacterias en las aguas del lago de Atitlán reportados durante los años 2011-2014 con la morbilidad registrada en los servicios de los puestos de salud de San Lucas Tolimán, Santiago Atitlán y San Pedro la Laguna?

En virtud de todo lo señalado, se procedió a explorar la relación existente entre los florecimientos de cianobacterias en las aguas del Lago Atitlán y la demanda registrada en los puestos de salud de San Lucas Tolimán, Santiago Atitlán y San Pedro la Laguna, durante los años 2011-2014, ya que estos 3 municipios son los que tienen mayor registro de porcentaje de abastecimiento de agua directo de este manto acuático;[15] estudio de enfoque cuantitativo y diseño ecológico; escrutinio de registros de morbilidades en SIGSA-WEB (SISTEMA DE INFORMACIÓN GERENCIAL EN SALUD-WEB) (138,040 casos) y base de datos de concentraciones de cianobacterias (391 mediciones).

Con la presente investigación se pretende generar información vital que podrá ser útil en la toma de decisiones para la implementación de estrategias en pro del rescate del Lago de Atitlán y de la salud de sus pobladores, así como el de generar un antecedente bibliográfico para futuras investigaciones de saneamiento ambiental y salud de los mantos de agua dulce de la región.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Marco de antecedentes

Las floraciones de cianobacterias han sido un problema a nivel mundial, pues afectan la calidad de las aguas de los sistemas límnicos. Un estudio subrayó sobre la importancia que estos microorganismos resultan tener al conglomerarse sobre la superficie de los mantos acuáticos (floraciones o “Blooms”, en inglés), esto como resultado de factores varios que contribuyen al enriquecimiento de nutrientes de dichas aguas (eutrofización de las aguas), floraciones que fueron determinadas perjudiciales a la salud humana dada por la presencia de cianotoxinas, metabolitos que incluso pueden provocar la muerte en mamíferos y/o ser cancerígenos y teratogénicos por exposición tan solo a bajas dosis pero por períodos prolongados. [16, 17]

No todos los florecimientos necesariamente son dominados por una sola especie de cianobacteria, estos pueden ser formados por una variedad de especies, las cuales pueden ser tóxicas o no serlas. Dicho daño a células diana por sus cianotoxinas son de tipo hepatológicas, gastrointestinales, citológicas, dermatológicas y neurológicas. Entre las más comunes aisladas en los florecimientos, destacan las de tipo hepatotóxicas *(mycrocistinas)*. [16]

2.1.1 Estudios realizados en otros continentes

En la República de Kenia, África (2002). Un estudio determinó la presencia de una especie cianobacteriana en dos de sus lagos (Simbi y Sonachi), donde con estos florecimientos se confirmó hepatotoxicidad (MC-RR, MC-LR, MC-LA y MC-YR), y neurotoxicidad (*anatoxina-α)* en ambos lagos, lo que evidenció el riesgo latente para la vida silvestre que se abastece de estos recursos hídricos en aquella región. [18]

En Francia (2003), se reportaron decenas de muertes rápidas caninas, quienes habían bebido aguas de la ribera del río La Loue. Se muestrearon las aguas de la línea del río, y se pudo concluir que dichas aguas contenían cianotoxinas de tipo *microsistinas, saxitoxinas y anatoxinas*. Se logró identificar una nueva especie productora de *anatoxina-α*: *Phormidium favosum*. Lo que evidenció la causa del rápido deceso de los canes por neurotoxicosis al haber bebido aguas contaminadas con cianobacterias. [9]

En la Península Ibérica (2009), se realizó un estudio respecto a la producción y liberación de *Microcistinas* en comunidades cianobacterianas del rio Muga, en la que se evidenció la presencia de 6 *Microcistinas* acumuladas intracelularmente, las cuales fueron identificadas 3 de ellas como *MC-RR, MC-LR y MC-YR.,* con concentraciones que sobrepasaron el umbral permitido para aguas de abastecimiento humano, lo que manifestó riesgo inequívoco para la salud, por la potente hepatotoxicidad que estas presentaron. [19]

En la República Checa (2012), se llevó a cabo una minuciosa revisión de estudios científicos publicados que hacen alusión a los posibles efectos tóxicos que las cianotoxinas tienen sobre la salud humana. La autora de dicha tesis concluye que no solo el género *Microcistina*, o el género *Cilindrospermopsin* y sus cianotoxinas son causantes de los diversos efectos tóxicos sobre la salud, sino resalta la presencia de metabolitos tóxicos al igual que las cianotoxinas, en los diferentes géneros estudiados.[20]

En Asia (2014), fue llevado a cabo un estudio en aguas costeras de Qatar. Este permitió aislar 28 taxas cianobacterianas, entre las cuales dos se reportaron por primera vez: *Geitlerinema sp. y Chroococcidopsis sp.,* Por lo que se puntualizó el posible riesgo a la salud, pues ella son productoras de cianotoxinas causantes de células tumorales en pulmones humanos así como productoras de un potente aminoácido neurotóxico, respectivamente. Se recomendó no utilizar las aguas de éste manto acuático para consumo humano y/o para recreación. [8]

En España (2016), se publicó un estudio de análisis acerca de la determinación de cianobacterias en 9 embalses de la cuenca hidrográfica del Miño-Sil. Se identificaron 10 especies potencialmente tóxicas, lo que representó el 90% de positividad para cianobacterias, del total de los embalses estudiados. Éste estudio también concluyó con la determinación del riesgo potencial a la salud de sus pobladores, por la toxicidad de dichos florecimientos, presentando 5 embalses analizados concentraciones altas de toxina *Microcistina-LR,* la cual es altamente hepatotóxica. [10]

2.1.2 Estudios realizados en el continente americano

En Sur América se han llevado a cabo estudios con el mismo fin, determinar la presencia de cianobacterias en los mantos acuáticos y sus posibles cianotoxinas. Así, en Colombia (2010), se estudió el río Cesar para la identificación de cianobacterias potencialmente toxicas. Éste determinó la implicación abundante de cianobacterias *Phormidium sp., Oscillatoria sp. y Pseudo*

*Anabaena sp. e*n zonas donde la contaminación orgánica fue mayor (zonas de descargas residuales). Se concluyó que esto se ha vuelto un verdadero problema de contaminación ambiental y de salud pública para las poblaciones que utilizan el río como proveedor de agua para el sostenimiento de zonas agrícolas y/o ganaderas y actividades de recreación y/o pesca. [21]

En Argentina para el año 2011, el departamento de Salud Ambiental bajo la Dirección Nacional de Determinantes de la Salud e Investigación del Ministerio de Salud de la Presidencia de la Nación, emitió una publicación con el título "Cianobacterias como Determinantes Ambientales de la Salud", donde sus autores postulan que toda floración cianobacteriana (Bloom) debe ser considerada en principio como potencialmente tóxica y, por lo tanto, como un problema de salud pública que requiere acciones inmediatas para minimizar su efecto negativo en las comunidades en riesgo, dada la presencia de *mycrocistinas.* [22]

En Canadá (2013), un estudio demostró que existe relación directa entre el consumo de aguas contaminadas con cianobacteria *Microcistina,* y signos y síntomas que aluden a su cianotoxicidad: vómitos, cefaleas, nauseas, dolor abdominal, fiebre, dolor muscular, irritación de ojos y dolor de oído. De éstos, solo los síntomas gastrointestinales se asociaron con el contacto recreativo directo. Se concluyó, instando a la población que hace uso de las aguas de estos mantos acuáticos, que deben ser conscientes de los posibles riesgos que esto conlleva, e instan a las autoridades a priorizar un plan de manejo de riesgos para las plantas de tratamiento de agua que extraen su agua de una fuente contaminada con cianobacterias. [5]

En Centroamérica, en la república de El Salvador (2013), se muestrearon 7 puntos del Lago Ilopango con el fin de establecer la proliferación de cianobacterias presentes en el manto acuático, y su interposición en actividades de saneamiento ambiental, tales como "El proyecto de agua potable para el Lago de Ilopango", así como para la actividad pesquera, entre otras. Se demostró la presencia de *Anabaena sp., Oscillatoria sp. y Microcystis sp.,* (potencialmente tóxicos). También Puso de manifiesto que la escasa precipitación evita el arrastre (por escorrentía) de nutrientes al lacustre, y que los florecimientos, son fenómenos que no se presentan en época seca, (probablemente por escaso nitrógeno detectado), pero que cambios en el aporte de nutrientes a este manto acuático, generarían florecimientos cianobacterianos potencialmente tóxicos. [11]

En New Jersey (2014), se estudiaron las aguas de su bahía. Se aislaron *Synechococcus, Prochlorococcus, y Cylindrotheca fusiformis*. Y se identificó el riesgo de salud para más de 1.5 millones de personas que viven en sus costas, por su posible toxicidad (por metabolitos o por cianotoxinas).[6] Dos años más tarde (2016) 17 mantos acuáticos estaban contaminados con cianobacterias de referencia: 6 lacustres mostraron *Cylindrospermum*, 7 *Microcystis Aeruginosa* y *Cylindrospermum similars*, 4 *Microcystis y Cylindrospermum* como especies puras y 2 sitios mostraron *Microcystis Aeruginosa* como especies similares. Se concluyó con recomendaciones en la toma de decisiones y en la implementación de estrategias de prevención para quienes usan estas aguas. [7]

En Uruguay, en 2015, se llevó a cabo un estudio de bioacumulación de *Microcistina-LR* en 35 ejemplares de peces de consumo humano. En él, se determinó que la concentración de *MC-LR* en el músculo de los peces y en los muestreos de agua fue no detectable. Estos niveles encontrados se encuentran por debajo de la Ingesta Diaria Tolerable propuesta por la OMS. Concluye el estudio refiriendo que la ausencia de toxicidad en los peces se explicaría por la ausencia de toxicidad en el agua durante los meses previos al muestreo y durante el mismo, entre otros, pero que es necesario implementar muestreos de rutina de los ejemplares y de las aguas en todo momento y no esporádicamente, dado el alto consumo que los pobladores tienen de sus peces y del uso que le dan a sus aguas. [23]

Para el año 2014, en Guatemala se llevó a cabo un estudio sobre la contaminación de las aguas del Lago de Amatitlán. Se estudiaron plantaciones irrigadas con agua del lago contaminado por cianobacteria, en el que determinaron que dichas plantaciones estaban contaminadas con *Microcystina (MCs)* del tipo *aeruginosa,* debido al riego del que se estaban abasteciendo dichas plantaciones (agua directa del lago). El estudio demostró que las aguas del lago estaban altamente contaminadas intra y extracelularmente de MCs, así como también lo estaban los frutos de dichas plantaciones: *Solanum lycopersicum* (jitomate), *Capsicum annuum* (chile pimiento). [13]

En Guatemala (2015), en el Lago de Amatitlán, se identificaron 36 taxones de fitoplancton, de los cuales 10 correspondían a cianobacterias. Los taxones que evidenciaron mayor densidad, fueron para las especies *Microcystis spp. (spp. del latín speciei, forma plural) y Dolichospermum spp.* Se concluyó que en dicho manto acuático existe una clara dominancia de cianobacterias en la zona fótica, la cual disminuye conforme aumenta la profundidad. Esto patentizó el alto riesgo

que tienen sus aguas de presentar metabolitos tóxicos y cianotoxinas que ponen en riesgo la salud de sus pobladores, así como de su biodiversidad. [12]

En marzo de 2014 la facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la USAC de Guatemala, a través del seminario de investigación titulado “Determinación de metabolitos secundarios y cianotoxinas producidas por la cianobacteria *Lyngbya sp.* y su relación con la calidad del agua del Lago de Atitlán” realizó cultivos de extractos de la biomasa aislada en las aguas del Lago de Atitlán y determinó la presencia de metabolitos secundarios y cianotoxinas de *Lyngbya sp*, mediante la realización de tamizaje fitoquímico, exponiendo así, riesgos potenciales a la salud por la toxicidad de dichas aguas. [14]

Son pues los florecimientos cianobacterianos, posibles afloramientos tóxicos, en cuerpos de agua salada como en agua dulce (esto por la presencia de metabolitos tóxicos y/o cianotoxinas) un problema no solo de medio ambiente, sino un verdadero problema de salud pública a nivel mundial, que va tomando auge por la creciente contaminación de los ecosistemas acuáticos con altas cargas de nutrientes por eutrofización natural (fósforo y nitrógeno) y/o por actividad antrópica (eutrofización cultural). [10]

De esta cuenta, y debido a los florecimientos cianobacterianos en las aguas del Lago Atitlán, entidades gubernamentales y no gubernamentales han echado andar una serie de planes en pro del rescate de este recurso; desde educación ambiental entre los pobladores, jornadas de limpieza subacuática del lago, [24] hasta la instalación de aireadores solares fotovoltaicos (oxigenadores), los cuales fueron colocados en puntos estratégicos del manto acuífero (bahía San Lucas Tolimán y Santiago Atitlán, agosto 2010), [25] esto con el propósito de mantener oxigenada la columna de agua), así como también la construcción de humedales artificiales para contener la alta descarga de nutrientes provenientes de aguas residuales de las poblaciones aledañas. [26] Sin embargo, estudios que relacionen el impacto que estos afloramientos han tenido sobre la salud de los pobladores, por su uso en actividades acuáticas, recreativas, acuicultura y agua potable, entre otros, aún no se han realizado.

2.2 Marco teórico:

La situación actual de la salud de la población en estudio, está determinada por factores varios, los cuales mantienen una dinámica interactiva con los pobladores. Debido a que el

problema de salud que afecta a las comunidades en estudio es de origen multicausal, se decide adoptar el modelo ecológico de Bronfenbrenner. En este se plantearan situaciones que rodean al individuo desde niveles cercanos a él, como a entornos más excéntricos. En el primer nivel “su entorno inmediato” (microsistema), se hará referencia al conjunto de actividades, roles y relaciones sociales que el individuo en desarrollo experimenta con su entorno. Así sus agentes socializadores estarán determinados por sus estilos de vida, como la familia, los iguales, la escuela, los vecinos y el trabajo. Seguido a este nivel, se presenta la interrelación de dos o más sistemas: el mesosistema. Aquí se interrelacionan sistemas entre sí como por ejemplo familia-escuela. En el tercer nivel: el exosistema lo conforma el entorno más amplio (instituciones sociales). Y por último, su macrosistema: aquí se hace referencia a su contexto histórico, político, cultural, costumbres, moral y social, ya que para este caso se sabe bien, son los factores macroambientales (floraciones cianobacterianas por eutrofización de las aguas de origen antrópico o natural) los que se pretenden estudiar, como uno de los protagonistas en la génesis del deterioro de la salud de la población. [27]

Se sabe que en ésta teoría, los factores macrosociales y del medio físico geográfico de los individuos, poseen una mayor influencia en él; esto debido a tres razones principales: 1) La homogeneidad en patrones de conducta predominantes en cada sociedad que son semejantes a sociedades que tienen factores macrosociales similares. 2) La heterogeneidad en los estilos de vida cuando se comparan sociedades con diferentes estructuras sociales y deferentes marcos geográficos (los que en estas poblaciones de estudio podrían variar por las etnias diferentes kaqchikeles y tzutujiles), y 3) los estilos de vida son sensibles a las variaciones que se puedan dar en factores macrosociales que tienen que ver con conductas que componen los estilos de vida. A pesar de ello, cabe la posibilidad que en una misma sociedad existan personas con estilos de vida muy diferentes al resto de sus semejantes, de tal manera que algunas personas se comprometen con comportamientos saludables y evitan las conductas de riesgo, mientras que otras, por el contrario, adoptan estilos de vida insanos, lo que indica que aunque los factores macrosociales son importantes, existen otras variables de igual valor que pueden tener una influencia imperativa en los estilos de vida. [27]

Así mismo, se interrelacionará con el modelo holístico de Laframbroise desarrollado por Marc Lalonde. Donde se evidencia que la salud de una comunidad está influenciada por 4 grandes determinantes: 1) Estilos de vida y conductas de salud, 2) medio ambiente, 3) biología humana y 4) el sistema de asistencia sanitaria. Aquí, el tipo de alimentación, el sedentarismo, la

mala utilización de los servicios sanitarios, la constitución biológica de cada individuo, su carga genética así como la contaminación física, química, biológica psicosocial y sociocultural del medio ambiente son factores primordiales en la génesis del padecimiento de diversas morbilidades en las sociedades. [28]

En esta teoría, cuyo objetivo es fundamentar las causas, condiciones o circunstancias que determinan la salud, se mencionarán factores que influencian en el aparecimiento de la enfermedad, así como al no aparecimiento de la misma, en los individuos: factores predisponentes, precipitantes, perturbadores y protectores. [28]

En este modelo holístico interrelacionado con el modelo ecológico se evidencia que una mala conducta hacia el entorno de los individuos (medio ambiente) aunado a su predisposición biológica a padecer de enfermedades infecto-contagiosas y a la calidad de servicio sanitario al que están expuestos, precipita cada vez más y más el repunte de morbilidades en nuestra población de estudio.

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Cuenca

Es una unidad territorial en la cual el agua que cae por precipitación se reúne y escurre a un punto en común o fluye toda a un mismo río, lago o mar. En ella viven seres humanos, animales y plantas, todos ellos interrelacionados. A los límites de la cuenca se le conoce como: “Parteaguas”. Este consiste en una línea imaginaria que une los puntos de mayor altura en el área delimitada entre dos laderas. [29]

2.3.2 Cianobacteria

Microorganismo procariota unicelular, cuyo hábitat pueden ser terrestres y acuáticos. Perteneciente al reino mónera, fotosintético, carente de núcleo celular definido y cuya dimensión va desde 0.5 – 1mm hasta 60mm de diámetro. [30]

2.3.3 Características generales de las cianobacterias

Las cianobacterias son un tipo de microorganismos procariotas pertenecientes al dominio *Bacteria.* Durante millones de años han colonizado exitosamente los ecosistemas acuáticos y actualmente se encuentran distribuidas en las aguas de todo el mundo. Estos microorganismos son capaces de colonizar cualquier tipo de ambiente: marinos, dulceacuícola, terrestres y hasta en el desierto más árido del planeta. [16, 31]

Se sabe que estos microorganismos son más antiguos que la misma raza humana y que actualmente se estima que existen $5x10^{30}$ bacterias en el mundo, [26] de ellas más de 2,000 especies pertenecen al filo cianobacterias, las cuales son capaces de realizar fotosíntesis oxigénica dada su concentración de clorofila-α y ficobilina (ficocianina), proceso que dio origen a la atmósfera oxidante del planeta tierra. Se les haya en sistemas límnicos, en la columna de agua o el bentos de lagos, lagunas, ríos, y arroyos de todo el mundo. Las cianobacterias deben su nombre a su apariencia verde azulada (Cyanobacteria del griego kyanós “azúl”), resultado de la ficocianina en su microbiología, la cual le concede su característica pigmentación. [31]

Estas muestran una considerable diversidad morfológica, pueden ser unicelulares (cocos y bacilos) hasta filamentosas, pudiendo presentar ramificaciones verdaderas o falsas. Gran parte de las cianobacterias suelen encontrarse en la naturaleza formando grupos de células o filamentos en forma de colonias características, e incluso formando tapetes microbianos asociados con otros microorganismos. Otro aspecto importante es la aparición de afloramientos masivos de algunas cianobacterias, que pueden ser visibles a simple vista cuando se generan densas concentraciones de éstas cerca de la superficie. [32]

Las cianobacterias, al entrar en simbiosis con otras células, por su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico en condiciones aerobias, son las responsables de la creación de las células de toda planta terrestre, incluso el pigmento que les otorga el color verde a estas plantas no es más que la participación de estas bacterias en las plantas en forma de cloroplastos. A demás estas captan electrones del agua con lo cual se produce energía, condensación del carbono y como “residuo tóxico” producen oxigeno del cual la mayoría de seres vivos depende. [33]

2.3.3.1 Organización celular

La estructura celular de las cianobacterias es común a todas ellas aunque exista una gran diversidad morfológica entre los diferentes grupos. Las células vegetativas pueden sufrir un

proceso de diferenciación celular dando lugar a células especializadas como son los heterocistos y acinetos. [34]

Las células vegetativas constituyen el tipo celular básico de todas las cianobacterias. Tienen una membrana plasmática rica en enzimas y poseen una pared celular del tipo Gram-negativa. La capa más interna de la pared celular está formada por peptidoglicano el cual le confiere sensibilidad a las cianobacterias frente a lisozima y penicilina. En numerosos tipos de cianobacterias, las células vegetativas poseen una envuelta exterior a la membrana externa denominada vaina mucilaginosa o cápsula, constituida por polisacáridos producidos dentro de las células y excretados por ellas, que suponen principalmente una ventaja adaptativa contra la desecación y contribuyen a la formación de agregados. [34]

Su genoma está dado por ADN bicatenario y circular, situado en el centro del citoplasma. También se encuentran dispersos por el citoplasma los ribosomas de tipo bacteriano (70S) y una serie de gránulos. Estos gránulos pueden ser polifosfatos (reserva de fósforo), de cianoficina (reserva de compuestos nitrogenados), de glucógeno y de poli-β-hidroxibutirato (reserva de carbono). También podemos encontrar otras estructuras denominadas carboxisomas o cuerpos poliédricos, que acumulan ribulosa 1,5 bisfosfato carboxilasa y vacuolas de gas, que son importantes pues permiten el desplazamiento en la columna de agua de las cianobacterias. [34]

2.3.3.2 Estructura citoplasmática celular fotosintética

Las cianobacterias contienen tilacoides, situados en la periferia del citoplasma de forma paralela, los cuales contienen los pigmentos fotosintéticos y las cadenas de transporte de electrón fotosintético y respiratorio. [34]

Los pigmentos fotosintéticos que poseen las cianobacterias son: clorofila-α, componente del fotosistema I y principal colector de energía; carotenoides, con función protectora contra la oxidación de los pigmentos y ficobiliproteínas. Las ficobiliproteínas pueden ser ficocianina y aloficocianina así como ficoeritrina y ficoeritrocianina con menor frecuencia. Estas son muy eficientes en la captación de energía, formando parte del sistema antena en unos complejos multimoleculares denominados ficobilisomas, cediéndola mayoritariamente al fotosistema II. Además, son la porción nitrogenada de la célula con mayor capacidad de movilización, variando su proporción en función de la fuente de nitrógeno que exista en el medio. [34]

2.3.3.3 Células especializadas

Algunas cianobacterias son capaces de diferenciarse a nivel morfológico, así como a nivel de su organización estructural y fisiológica. Esto les permite adaptarse a los distintos hábitats en los que se pueden encontrar. [17, 22, 34]

Cuando las condiciones son limitantes de fósforo, luz o por presencia de carbohidratos como fuente de energía se diferencian a acinetos. Cuando las condiciones vuelven a ser favorables, tienen la capacidad de germinación para producir nuevos filamentos. [34]

Otra forma de especialización celular la componen los hormogonios. Son producidos por muchas cianobacterias filamentosas a partir de la muerte de una o más células intercalares denominadas necridios, o bien por la separación entre dos células contiguas. La función principal es la de reproducción y dispersión ya que pueden tener movilidad y además pueden adherirse a superficies sólidas. [7, 34]

2.3.3.4 Distribución de las cianobacterias (ecología cianobacteriana)

Por su gran variedad morfológica, estructural y fisiológica, las cianobacterias pueden habitar a muy bajas temperaturas (formando gruesas masas bentónicas en lagos de regiones polares), como a temperaturas desérticas o de más de 60 °C, así como tolerar cambios de luz, salinidad, humedad, disponibilidad de oxígeno, radiación, disponibilidad de nutrientes, pH >4, etc. Ellas pueden habitar cuerpos de agua salobres como en ecosistemas dulceacuícolas (lagos, ríos, arroyos, etc.) donde concurren una gran variedad de cepas de este microorganismo. [17, 22, 23, 34]

Las cianobacterias poseen pigmentos en sus vainas que les permite protegerse de una elevada irradiación solar. En conjunto, les permite dominar hábitats tan inhóspitos como son los cráteres volcánicos, fuentes termales, lagos alpinos o polares y ambientes hipersalinos. [35]

2.3.3.5 Captación de nitrógeno por las cianobacterias y su metabolismo [34]

Las cianobacterias presentan (entre otros elementos químicos) metabolismo de carbono, nitrógeno y fósforo. Estos microorganismos presentan distintas estrategias para competir en ambientes donde existe una disminución de nutrientes en el medio, como son el nitrógeno y el

fósforo. En los casos donde el nitrógeno es limitado, algunas cianobacterias pueden fijar nitrógeno atmosférico mediante células especializadas. [35]

En ambientes carentes de fósforo, pueden ser empleadas las reservas de fósforo almacenadas en sus gránulos de polifosfatos. Además, las cianobacterias pueden presentar enzimas fosfatasas unidas a la superficie externa de la membrana celular, lo que les permite obtener el fósforo inorgánico de fácil asimilación a partir de compuestos orgánicos.

En cuanto a la fuente de carbono, se pueden presentar tres tipos de metabolismo: *fotoautotrofismo:* cuando utilizan carbono inorgánico en la fotosíntesis oxigénica; *fotoheterotrofismo:* cuando la fotosíntesis sólo proporciona energía en forma de ATP y necesitan compuestos orgánicos como fuente de carbono y *quimioheterotrofismo*: cuando son capaces de crecer en oscuridad, utilizando una compuesto orgánico como fuente de carbono y de energía.

Del nitrógeno, las cianobacterias son capaces de utilizar varias formas de este elemento para su crecimiento. Este es incorporado a la materia orgánica en forma de NH4+. Algunas de ellas tienen la capacidad de reducir biológicamente el N2 atmosférico mediante la actuación enzimática, aunque algunas cianobacterias no tienen heterocistos pero pueden fijarlo también, alternando este proceso con los fotosintéticos.

2.3.3.6 Clasificación de las cianobacterias

Las cianobacterias también pueden ser denominadas cianófitas o cianofíceas y suelen ser clasificadas por su orden y por sus características bacteriológicas (por su sección).

a. Cianobacterias por su orden

Las cianobacterias por su organización estructural y bioquímica son un tipo de bacterias gram negativas. Según la tradición botánica, se distinguen en base a sus propiedades morfológicas, que incluyen principalmente la formación de la colonia, la morfología celular y envolturas extracelulares, pigmentación, reproducción y en menor medida, en base a sus propiedades fisiológicas y bioquímicas.

Este sistema de clasificación, (Código Internacional de Nomenclatura Botánica) requiere como referencia taxonómica muestras fijadas y preservadas. Se han publicado y aceptado alrededor de 2000 especies de cianobacterias bajo este código. Todas ellas, quedan englobadas en los 4 órdenes siguientes: [34]

- Orden Chroococcales
- Orden Oscillatoriales
- Orden Nostocales
- Orden Stigonematales

b. Cianobacterias por su sección

A diferencia de su clasificación tradicional, existe una clasificación más, la cual está fundamentada en el Código Bacteriológico de Nomenclatura. Esta se basa en sus características puramente morfológicas, fisiológicas, citológicas y bioquímicas de cultivos axénicos de especies aisladas, como la composición de pigmentos, análisis de ácidos grasos, crecimiento heterotrófico, actividad nitrogenásica, composición nucleotídica del ADN y longitud del genoma. Así las cianobacterias se agruparon en 5 secciones: [34]

- Sección I (reproducción por fisión binaria o gemación)
- Sección II (reproducción por fisión múltiple)
- Sección III (reproducción por fragmentación de los filamentos)
- Sección IV (reproducción por fragmentación del tricomona)
- Sección V (reproducción por fragmentación filamentosa y tricomona)

2.3.4 Floraciones cianobacterianas

Se le conoce como florecimientos, floraciones, afloramientos o blooms a la multiplicación y acumulación de estos microorganismos planctónicos en períodos de horas a días (concentración de más de 2 millones de células por Litro, o bien 20,000 células/ml^{-1}, ó 10 mg/m^{-3} de clorofila-α). [17] Dado que una floración algal es un fenómeno complejo, los mecanismos que influencian su iniciación y desarrollo son diversos e implican la interacción de factores biológicos, físicos y químicos, esto favorece el crecimiento de unas especies más que otras. [35] El importante incremento en la frecuencia de aparición y duración de estos fenómenos a escala mundial está

fuertemente asociado al incremento de las condiciones de eutrofización de los cuerpos de agua más que al efecto del calentamiento global, fenómeno que también incide en la aparición de los blooms. [17]

Todo bloom de cianobacteria tiene la característica particular de presentarse macroscópicamente como una capa de pintura de color azul-verdoso, rojizo, negruzco y hasta con espuma. Sin embargo, no siempre las floraciones son visibles, ya que algunas poblaciones pueden presentarse dispersas en toda la masa de agua o concentrarse a cierta profundidad, por lo que no resultan evidentes a simple vista. [34]

2.3.5 Factores que favorecen los florecimientos

A partir de la década de 1950, se habla de “eutrofización artificial” o “cultural”; término que hace referencia a los procesos acelerados de enriquecimiento de nutrientes o iniciados por el impacto antrópico (humano). [34]

Ciertas condiciones fisicoquímicas favorecen el establecimiento y la proliferación de las cianobacterias. Generalmente, altas concentraciones de nutrientes (principalmente nitrógeno y fósforo), temperaturas elevadas, buena disponibilidad lumínica, distribución en la columna de agua, baja turbulencia, ausencia de vientos y la estratificación del cuerpo de agua, se relacionan con el desarrollo de las floraciones de este tipo de microorganismos cianobacterianos. Sin embargo cabe destacar que uno de los factores más importantes y principales a la hora de converger todos estos, es la llamada y creciente “eutrofización cultural” de los cuerpos de agua. [31]

Así las altas descargas de desechos orgánicos, domésticos y urbanos vertidos a estos mantos acuíferos, por grandes asentamientos de poblaciones humanas, actividades industriales, agrícola-ganaderas, generan alto contenido de nitrógeno y fósforo a los mantos de agua dulce, esto favorece las floraciones cianobacterianas potencialmente tóxicas trayendo consigo los riesgos sanitarios, económicos y ambientales que se manifiestan prontamente afectando a todo un ecosistema. [17, 18, 31, 34]

- **La irradiación como factor importante en el desarrollo de floraciones**

Las cianobacterias presentan ficobilinas y carotenoides, los cuales le permiten extender el rango de absorción lumínica que pueden utilizar para los procesos fotosintéticos. De esta manera, logran crecer en condiciones de luz que no son óptimas para el resto de los componentes del fitoplancton. [31]

Una gran cantidad de cianobacterias planctónicas presentan vesículas de gas o aerótopos que les permiten regular su posición en la comuna de agua, prolongando así su permanencia en la zona eufótica donde se dan las condiciones óptimas de irradiancia. El factor que regula este mecanismo de flotabilidad es la luz. Condiciones de baja irradiancia promueven la formación de las vesículas, lo que provoca que el citoplasma se torne menos denso que el medio y que el organismo tienda a flotar. [31]

Las cianobacterias al aumentar su tasa fotosintética (por la exposición a la luz) también lo hacen sus metabolitos fotosintéticos en el citoplasma; ante esto, asciende la presión intracelular provocando el colapso de algunas vesículas y se consiguiente hundimiento.

Finalmente, la disminución de la irradiancia promueve la formación de nuevas vesículas de gas con las cuales los organismos alcanzan nuevamente la superficie. [31]

2.3.6 Biomonitorización de los brotes cianobacterianos

Como bien se ha definido con anterioridad, los blooms cianobacterianos son consecuencia de factores varios que convergiendo generan el aparecimiento de estos microorganismos algales sobre la superficie del manto acuático. [34]

Estos blooms son monitoreados constantemente a través de la medición de la concentración de biomasa de clorofila-a, según el estado trófico del lago Actualmente existe una gran variedad de métodos de biomonitorización de la calidad del agua en ríos en los que se usan algas, briofitos, plantas superiores, macroinvertebrados y peces. Entre las algas, las diatomeas bénticas están siendo muy utilizadas como bioindicadores en muchos países europeos. [34, 36]

2.3.7 Aguas eutróficas y oligotróficas

- **Eutrófico:** En ecología se utiliza éste término para describir sistemas biológicos en los cuales existe un alto ingreso de nutrientes limitante, lo que desencadena un alto nivel de producción primaria. [19]

- **Oligotrófico:** El término "oligotrófico" se refiere a una condición de baja concentración de nutrientes y de baja productividad (antónimo de eutrofización). [19]

Muchos son los factores que desencadenan la eutrofización de las aguas (clima, características geológicas e hidrológicas del sistema, morfología del limnótopo, transparencia del agua por la presencia de material inorgánico en suspensión, el tiempo de residencia del agua y la dinámica interna de nutrientes). Pero la causa más importante y sobresaliente que conduce a que un sistema se convierta de oligotrófico a eutrófico, es la alta concentración de nutrientes (principalmente nitrógeno y fosforo). [35]

Entre las especies que predominan los ambientes eutróficos están: [22 34, 35]

- *Bacillariophyceae (diatomeas)*
- *Chlorophyceae (algas verdes)*
- *Dinophyceae (dinoflagelados)*
- *Cyanophyceae (cianobacterias)*

Algunas especies de este grupo *Cyanophyceae (Microcystis spp, Anabaena spp, Aphanizomenon spp)* desarrollan floraciones fácilmente visibles de color verde flúor. Estas especies ascienden a la superficie en un lapso de minutos a horas cuando la columna de agua se estabiliza. Dicha estabilidad se da en condiciones de vientos menores a 3 m/ s^{-1}, de modo que en menos de 24 hrs. un ambiente turbulento pasa a un estado estable y permite la acumulación de la floración en la superficie. [22]

Las floraciones de otras cianobacterias (Planktothrix spp, Oscillatoria spp, Planktolyngbya spp) no se acumulan en la superficie sino en niveles más profundos y menos iluminados o permanecen dispersas en la columna de agua, por lo que no siempre son visibles a simple vista. [22, 32, 35]

2.3.8 Géneros de cianobacterias que desarrollan floraciones tóxicas

Entre los géneros más comunes que proliferan gracias a la eutrofización de las aguas, y que poseen características tóxicas que básicamente pueden ser: neurotoxinas, dermatotoxinas, gastrotoxinas y hepatotoxinas, y que pueden liberar compuestos volátiles como la geosmina, β-metilisoborneol entre otros (compuestos promotores de trastornos respiratorios y digestivos en personas sensibles), están: *Anabaena, Aphanizomenon, Lyngbya, Microcystis, Nodularia, Nostoc, Oscillatoria, Planktothrix y Synechococcus*, todas ellas son altamente irritantes. [36, 37]

Son pues los florecimientos cianobacterianos, posibles afloramientos tóxicos, en cuerpos de agua salada como en agua dulce (esto por la presencia de metabolitos tóxicos y/o cianotoxinas) un problema no solo de medio ambiente, sino un verdadero problema de salud pública a nivel mundial, que va tomando auge por la creciente contaminación de los ecosistemas acuáticos con altas cargas de nutrientes (fósforo y nitrógeno) por eutrofización natural y/o por actividad antrópica. [10]

2.3.9 Cianobacterias y su efecto en la salud humana

Se han detectado toxinas claves causantes de defunciones de animales y lesiones humanas. Así mismo, existe evidencia considerable de que una variedad de metabolitos cianobacterianos pueden ser oportunos para la salud humana y deben evaluarse como riesgos potenciales. [22]

A continuación, antecedentes del conocimiento sobre cianotoxinas: [16, 22]

- 1878: primera publicación sobre los efectos tóxicos de las cianobacterias. [16]

- Hasta mediados de los 40: informes de intoxicaciones de ganado y fauna silvestre después de ingerir cianobacterias. [16]

- 1959-1970: numerosas pruebas de toxicidad (ensayos con ratones) con material de afloramientos y cultivos de cianobacterias, listado de cianobacterias potencialmente tóxicas, descripción de los efectos diferenciados por hepato y neuro-toxinas. [16]

- 1972: primera cianotoxina identificada (Anatoxina-a). [16]

- 1990: métodos analíticos adecuados disponibles para el monitoreo rutinario de toxinas. [16]

- 1995: ensayos inmunológicos y enzimáticos sumamente sensibles. [16]

Todos los estudios que han sido bien documentados respecto al daño a la salud humana a través de cianotoxinas o sus metabolitos, la mayoría involucró la exposición a través del agua potable y demuestran que los seres humanos se enferman (en algunos casos gravemente) a través de la ingestión o aspiración de sustancias cianobacterianas tóxicas (cianotoxinas o metabolitos). La mayoría de los síntomas que se presentaron fueron claramente atribuibles a *mycrocistinas.* Incluso, se documentó el trágico caso de la administración accidental de estas toxinas a pacientes con diálisis renal. [16]

Se han identificado tres tipos de neurotoxinas: Las de tipo alcaloide *"Anatoxina-α"* que ocasionan sobre excitación de las células musculares. Las de tipo organofosforado *"Anatoxina-α(s)"* que provocan intensa salivación, hiperventilación, tremores, fasciculaciones, ataxia, diarrea y cianosis, y por último las de tipo alcaloide neurotóxicas de la familia de los carbamatos: las *"Saxitoxinas y Neosaxitoxinas"* que dan lugar a un síndrome neurotóxico, causado por la ingestión de alimentos contaminados; sin embargo, su presencia en lagos y ríos no es tan común como lo son las que ocasionan afecciones gastro-hepáticas y neurológicas del genero *Microcistina* (hemorragia masiva del hígado, daño acumulativo, cáncer de hígado, letargo, ictericia, fiebre, apatía, hiperventilación, diarreas persistentes, dolor abdominal, entre otros) así como las de sus metabolitos tóxicos (2-metilisobomeol MIB y Geosmina, entre otros). [14, 38, 39]

2.3.10 Mecanismos de exposición cianobacterianos

Se destacan que los riesgos para la salud humana surgen de tres vías de exposición enumeradas a continuación:

a. Contacto directo de partes expuestas del cuerpo, incluidas áreas sensibles como oídos, ojos, boca y garganta, y áreas cubiertas por un traje de baño que pueden recoger el material celular.[33]

b. Ingestión accidental por tragar agua que contiene células.[33]

c. Ingestión del agua que contiene células mediante la aspiración (inhalación).[33]

Sin embargo es importante señalar que es probable que diferentes metabolitos cianobacterianos estén involucrados al evocar los síntomas asociados con estas rutas de exposición. [33]

A continuación algunos casos e informes de lesiones agudas en seres humanos asociadas a la exposición de cianobacterias:

- 1979, Australia: afloramiento en reservorio de agua potable, con enfermedades graves, incluso casos que terminaron con hospitalización. [33]

- 1989, Inglaterra: personal militar con padecimientos pulmonares (neumonía grave) atribuida a la inhalación de toxina *Microcystis*, pacientes terminaron en unidad de terapia intensiva. [16]

- 1994, Suecia: conexión cruzada con casos de pacientes que presentaron signos y síntomas tales como vómitos, diarreas, retortijones musculares, náuseas y cefaleas y aguas de un rio que contenía *Mycrocistinas*. [33]

- 1995, Australia: Pacientes enfermos con diarreas, vómitos, síntomas de gripe, erupciones cutáneas, ulceras en la boca, fiebres, irritación de ojos y oídos después de la exposición a aguas recreacionales. [33]

2.3.11 Sintomatología secundaria a la exposición a cianobacterias

Debido a la falta de estudios científicos respecto al daño que las cianobacterias pudieran liderar en la salud humana, no solo por cianotoxinas, sino por otras sustancias aún por descubrir o poco estudiadas (metabolitos tóxicos), se presenta una compilación detallada solamente del daño causado por sus cianotoxinas.

Así, entre los signos y síntomas asociados se incluyen: dolor abdominal, náuseas, vómitos, diarrea (por gastroenteritis infecciosa por metabolitos tóxicos), otalgia, dolor de garganta, tos seca, cefalea, ampollas en la boca, rinitis, neumonía atípica, infecciones respiratorias agudas y enzimas hepáticas elevadas en el suero (especialmente la transferasa de gamma-glutamil)" así como síntomas de fiebre del heno, mareo, fatiga, irritación de los ojos y de la piel (dermatitis atópica o por contacto, urticaria), convulsiones y ataxia; estos síntomas están estrechamente relacionados con varias clases de cianotoxinas y/o con sus metabolitos. [16, 22, 33]

Al agrupar la sintomatología anterior por aparatos y sistemas, resultan reacciones de tipo hipersensibilidad, dermatológicas (por los géneros *Anabaena, Aphanizomenon, Nodularia, Oscillatoria, Gloeotricha*), respiratorias, gastrointestinales, hepáticas y neurológicas.[33]

En este marco fisiopatológico de las distintas afecciones que resultan de la interacción entre el consumo o contacto directo o indirecto de cianobacterias y sus cianotoxinas, así como de sus metabolitos tóxicos con la salud del ser humano, existe escueta información al respecto que relacione de forma directa el proceso patológico de estos microorganismos y el resultado de los signos y síntomas que se han manifestado en los hospederos. [22] No obstante se abordan dichas afecciones desde el punto de vista general y no como mecanismos fisiopatológicos propios de las cianobacterias (por cianotoxinas o metabolitos tóxicos) sobre la salud de quienes están relacionadas con ellas. Así mismo, se mencionan algunos estudios que han sido llevados a cabo, donde se presentan mecanismos que han sido dilucidados en la génesis de estos padecimientos en estrecha relación con estos microorganismos algales.

2.3.11.1 Reacciones de hipersensibilidad (alergias)

El término hipersensibilidad se refiere a la excesiva o inadecuada respuesta inmunitaria frente a antígenos ambientales, que pueden ser patógenos o no serlo, que causan inflamación tisular y malfuncionamiento orgánico. Estas resultan de las interacciones específicas entre antígenos y anticuerpos o células (linfocitos) sensibilizadas. Existen 4 tipos de hipersensibilidad: hipersensibilidad tipo I, hipersensibilidad tipo II, hipersensibilidad tipo III e hipersensibilidad tipo IV. Todas ellas desencadenan reacciones varias que van desde signos y síntomas inflamatorios dependientes del órgano expuesto (conjuntivitis, otitis, rinitis, resfriado común, dermatitis por contacto, urticaria, mialgias, odinofagia, artralgias), hasta un posible shock anafiláctico. Todas

probablemente explicadas por la acción en cascada de citokinas proinflamatorias y de hipersensibilidad. [40]

Las cianobacterias comparten ciertas características comunes con otros alérgenos ambientales y los estudios han demostrado respuestas alérgicas a cianobacterias en pacientes con alergias nasobronquiales. [40]

2.3.11.2 Reacciones de tipo infección respiratoria

a. Neumonía atípica

Es la infección pulmonar caracterizada por exudado inflamatorio del alveolo e intersticio pulmonar. Esta Infección es causada por agentes patológicos no comunes y su sintomatología es atípica a los síntomas causados por patógenos comunes (*Streptococcus pneumoniae*). Entre las manifestaciones clínicas, presenta: fiebre sin escalofríos, síntomas respiratorios, tos irritativa, cefalea, mialgias, malestar generalizado, rinitis, traqueobronquitis o faringitis, roncus o estertores, otalgia, odinofagia, rinorrea, conjuntivitis, eritema faríngeo, otitis media y/o adenopatías cervicales. [41, 42]

b. Infecciones respiratorias agudas

Son el conjunto de infecciones del aparato respiratorio causadas por microorganismos virales, bacterianos, micóticos y otros, con un período inferior a 15 días, con la presencia de uno o más síntomas o signos clínicos como: tos, rinorrea, obstrucción nasal, odinofagia, otalgia, disfonía, respiración ruidosa y dificultad respiratoria, los cuales pueden estar o no acompañados de fiebre; Entre las afecciones de este tipo se encuentran: resfriado común (rinofaringitis aguda), faringoamigdalitis, otitis media, crup y neumonía. [42]

2.3.11.3 Reacciones dermatológicas

a. Dermatitis atópica

La dermatitis atópica es una enfermedad inflamatoria crónica de la piel que afecta más a la población pediátrica que adulta. Cursa en brotes, caracterizada por un prurito muy intenso, en

ocasiones poco controlable o contenido y con sequedad de piel muy marcada. Inmunológicamente es bifásica, ya que cursa con una fase aguda fundamentalmente tipo Th2 (linfocitos ayudadores tipo 2) y una fase crónica Th2/Th1 (linfocitos ayudadores tipo 1).

En esta afección dermatológica se ven involucrados 4 factores íntimamente relacionados: predisposición genética, alteración de la inmunidad, disfunción de la barrera epidérmica y factores ambientales. [43]

b. Urticaria

Es un síndrome de reacción de la piel y mucosas caracterizado por edema y pápulas edematosas (ronchas pruriginosas), ocasionadas por edema vasomotor transitorio y circunscrito de la dermis, el cual dura algunas horas; puede ser recidivante y de origen inmunológico, no inmunológico o desconocido. La lesión elemental es la pápula edematosa dérmica. El angioedema se manifiesta típicamente como un edema asimétrico causado por la presencia de plasma dentro de tejido celular subcutáneo y mucosas.

La urticaria se puede clasificar de acuerdo con diferentes parámetros: 1) según la evolución: en aguda o crónica; 2) según el cuadro clínico: en urticaria ordinaria (urticaria propiamente dicha), urticaria física (por estímulo detonador), urticaria por contacto (inducida por contacto químico o biológico) y angioedema (sin ronchas), en el cual el espectro de las manifestaciones clínicas de los diferentes tipos es muy amplio; y 3) según el mecanismo potencial de su desarrollo: inmunológico, no inmunológico, mediada por el complemento, o bien urticaria autoinmune. [44]

c. Dermatitis por contacto

Se da este nombre a la enfermedad de reacción de la piel causada por la exposición de ésta a sustancias exógenas. También denominada e*ccema de contacto*. Entre los factores predisponentes para la presentación de este tipo de dermatosis están: el tipo de piel del paciente, la zona afectada, las dermatosis previas, la constitución genética y el ambiente. [45]

2.3.11.4 Reacciones gastrointestinales

a. Diarrea aguda

Es el aumento en el número de las deposiciones (más de 2 en 24 hrs.) y/o una disminución en su consistencia, de instauración rápida. Se puede acompañar de signos y síntomas como nauseas, vómitos, fiebre o dolor abdominal. La causa más frecuente es la infección gastrointestinal, que produce una gastroenteritis o inflamación de la mucosa gástrica e intestinal. Debido a ello el término diarrea aguda es prácticamente sinónimo de gastroenteritis aguda de causa infecciosa. [46]

La diarrea refleja un aumento en la pérdida a través de las heces de sus principales componentes: agua y electrolitos. El término agudo viene dado de ser habitualmente un proceso de carácter autolimitado, con una duración menor de 15 días.

Entre los agentes patógenos se encuentran: virus, bacterias, hongos, sustancias químicas, metabolitos tóxicos, entre otros.

b. Dolor abdominal

Es uno de los síntomas más frecuentes por el cual acuden los pacientes a la emergencia de los servicios de salud. Este puede aparecer en la mayoría de los trastornos intraabdominales; sin embargo, también puede ser la manifestación principal de afecciones localizadas fuera de la cavidad abdominal.

El dolor abdominal se suele clasificar en: Dolor abdominal agudo y crónico. En cuanto al dolor abdominal agudo se subdivide en: dolor abdominal agudo quirúrgico y no quirúrgico. Mientras que el dolor abdominal crónico se subdivide en: dolor abdominal crónico propiamente dicho, dolor abdominal crónico idiopático. Estos pueden ir acompañados o no de nauseas, vómitos, cefalea, fiebre, escalofríos, diarrea, estreñimiento, dependiendo de la patología que se trate. [47]

c. Infección intestinal

Es un proceso muy frecuente, que se caracteriza por un cuadro clínico de intensidad ampliamente variable, que puede ir desde unas mínimas molestias abdominales hasta severos

cuadros diarreicos, náuseas, vómitos y signos deshidratación. Esta es más frecuente en niños que en adultos. [48]

Esta infección se transmite fundamentalmente a través de los alimentos y del agua contaminados, pero también puede transmitirse de modo directo de persona a persona, sobre todo por vía fecal u oral, y de animal a persona (zoonosis). En ocasiones se presenta en forma de brotes e incluso de epidemias, especialmente cuando el contagio se produce a través de agua contaminada, sobre todo en países subdesarrollados. Es producida por numerosos microorganismos, entre los que figuran virus, bacterias y protozoos. [48]

Los factores más importantes en su patogenia son: características específicas de los microorganismos, así como el número ingerido de éstos, su capacidad invasiva y las toxinas que producen. Asimismo determinados factores protectores del huésped, como la flora intestinal normal y la inmunidad, juegan un papel importante en su génesis; finalmente, la sintomatología que la caracteriza depende, en buena medida, de la región del intestino predominantemente afectada y del agente etiológico responsable. [48]

Clínicamente una infección intestinal suele ir acompañada de la siguiente sintomatología: Diarrea profusa acompañada de signos de deshidratación, presencia de sangre, moco y pus en las heces, temperatura corporal superior a 38,5 ºC y la persistencia del cuadro más allá de 2 días. [48]

2.3.11.5 Reacciones hepáticas

a. Cirrosis

También llamada Insuficiencia hepática crónica, es una enfermedad asociada a falla hepática, la cual se caracteriza por un proceso difuso de fibrosis y la conversión de la arquitectura normal de su histología en una estructura nodular anormal, que puede presentarse como la etapa final de diversas enfermedades hepáticas de diferentes causas. [49]

Entre las causas de esta patología se encuentran el consumo excesivo de alcohol, exposición a tóxicos, antecedentes familiares de hepatopatías, antecedentes de hepatitis, entre otros. De las pruebas de laboratorio destaca la elevación de las transaminasas y la alteración de

los tiempos de coagulación. Clínicamente pueden cursar con o sin ascitis, edema, telangiectasias, ictericia, entre otros. [49]

2.3.11.6 Reacciones neurológicas

a. Síndrome convulsivo

Es un conjunto de signos y síntomas que se manifiestan por la afección del sistema nervioso. Es considerado sinónimo de "epilepsia". La epilepsia es la tendencia a crisis recurrentes. Una crisis a su vez es entendida como un evento paroxístico que interrumpe en forma brusca la cotidianeidad. Es producida por una descarga anormal de las neuronas cerebrales y puede expresarse de múltiples formas, dependiendo del sitio de origen y formas de propagación de la descarga bioeléctrica anómala. [50]

Entre los factores de riesgo se encuentran: predisposición genética, infección por patógenos de tipo bacteriano, viral, micótico o por metabolitos tóxicos del sistema nervioso. [50]

b. Ataxia

Ataxia significa “incoordinación motriz” y define un síndrome de desequilibrio-inestabilidad en la marcha. Esto provoca un aumento de la base de sustentación y en los casos más graves imposibilidad para mantener la bipedestación. Suele tener la connotación de un trastorno que afecta al cerebelo o sus conexiones, pero también ocurre por afectación de la sensibilidad propioceptiva (ataxia sensorial). [51]

Su etiología se atribuye a factores varios, entre los que se encuentran: postinfecciosa o de base inmunológica, enfermedades desmielinizantes, intoxicación, infección del sistema nervioso central, traumatismo craneal, tumores de fosa posterior, entre otros. [51]

2.4 Marco demográfico

El departamento de Sololá cuenta con 19 municipios, los cuales se encuentran dentro de la cuenca del Lago Atitlán. 10 de ellos están directamente localizados a la ribera de este lacustre, y más de 300,00 personas dependen de este recurso hídrico. [3] Se describen los 3 municipios que fueron parte de este estudio:

2.4.1 San Lucas Tolimán (27,145 habitantes)

Población de predominio Kaqchikel (89%). El 11% es ladino y radican principalmente en el casco urbano. El 51 % de la población es de género femenino, contra el 49% masculino. El 52% de la población vive en la cabecera municipal, mientras que el 48% habita en el área rural. La tasa de crecimiento poblacional es de 2.7% al año y tiene una densidad poblacional de 234 habitantes por km^2. La PEA (POBLACIÓN ECONÓMICAMENTE ACTIVA) es de 5,884, de las cuales 56% se dedican a la agricultura. La cabecera municipal y algunas comunidades se abastecen de agua extraída directamente de la bahía del Lago Atitlán. Y el 45% de las afecciones de salud son las de tipo infecciones respiratorias aguas (IRA´S). [52]

2.4.2 Santiago Atitlán (40,000 habitantes)

Población de predominio Tz'ûtujil (98%). El 51 % de la población es de sexo femenino, contra el 49% masculino. Su densidad poblacional es de 290 habitantes/km^2 (una de las más altas a nivel país). La tasa de crecimiento poblacional es de 12.9%. Más del 70% de la población viven en hacinamiento. El 79% de la población se encuentra en situación de pobreza y el 26% en pobreza extrema. La PEA se ubica con predominancia en el campo de la agricultura (45.3%) seguida del 25.5% de comercios varios (restaurantes y hoteles). En cuanto a las afecciones de la salud las IRA´s mantienen como primera causa de consulta, seguidas de las de tipo gastrointestinal, en la red de servicios de salud del MSPAS. [53]

2.4.3 San Pedro la Laguna: (9,034 habitantes)

Población de predominio Tz'ûtujil. Ubicados en el área urbana del municipio. Tiene una densidad poblacional de 434 habitantes/km^2. El 51% de la población es de sexo femenino (4,685), contra el 49% masculino (4,824). La población entre los 7-59 años representa el 75% (6,814 personas) del total de habitantes de este municipio. La PEA se dedica a las actividades agrícolas (49%). Este municipio tiene un nivel de pobreza del 47.6%. San Pedro la Laguna se sirve

principalmente de las aguas del Lago de Atitlán para consumo humano y para riego de hortalizas, por estar bañado en sus riberas por éste manto acuático. [54]

2.5 Marco geográfico

Las poblaciones en estudio pertenecen a una cuenca hídrica: la cuenca del lago Atitlán. Ésta se encuentra ubicada en la República de Guatemala en el departamento de Sololá y tiene un área total de 541 km², divido en 414 km² de área de drenaje y 127 km² de espejo de agua. A esta cuenca pertenece el Lago de Atitlán, el cual se encuentra ubicado a 14°42 de latitud norte y a 91°12 de latitud oeste. Este manto acuático está a 1,562 metros sobre el nivel del mar, abarcando un área de 137 km^2, con un volumen aproximado de 25km^3 y una profundidad media de 188 mts. (Profundidad máxima: 320 mts.). La mayor parte de la cuenca se encuentra en Sololá y una pequeña porción se encuentra en Totonicapán y Quiché por el norte y Suchitepéquez por el sur. Las Colindancias de esta cuenca son: al norte con la cuenca del Río Motagua, al este con la cuenca del Río Madre Vieja, al oeste con la Cuenca del Río Nahualate y al sur con las micro cuencas de los Ríos San José, Santa Teresa, Nica y Moca. [55]

2.6 Marco institucional

AMSCLAE (AUTORIDAD PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DE LA CUENCA DEL LAGO DE ATITLÁN Y SU ENTORNO) es una institución gubernamental de carácter técnico científico, creada por el Decreto Legislativo 133-96 del Congreso de la República de Guatemala y regulada par el Acuerdo Gubernativo No. 78-2012, y es la autoridad encargada de planificar, coordinar y ejecutar en coordinación con las instituciones que corresponda, todos las acciones que permitan conservar, preservar y resguardar los ecosistemas de la cuenca del Lago de Atitlán, generando los mecanismos necesarios para lograr sus objetivos. De igual forma sustenta decisiones sobre una base de ciencia y de datos sólidos y actualizados que permitan el desarrollo de políticas y planificación hacia el uso y manejo sustentable del Lago Atitlán y los recursos en su cuenca hidrográfica. [56]

UVG (UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA CAMPUS ALTIPLANO), institución de iniciativa privada cuyo propósito es el aportar conocimientos y acciones que contribuyan de manera integral a la conservación del Lago de Atitlán.

MSPAS (MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL) y su área de Salud del departamento de Sololá, así como los puestos de salud de los municipios en estudio.

2.7 Marco legal

En Guatemala, la regulación del servicio de agua potable (para consumo humano) está enmarcada dentro de la cartera del Ministerio de Salud y Asistencia Social según Acuerdo Ministerial No. 523-2013 donde se emite el "Manual de especificaciones para la vigilancia y el control de la calidad del agua para consumo humano" con base en la Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 29001. Donde en 6 capítulos y 30 Artículos se especifican la calidad de agua (concentración hidrogeno, cloro residual, hierro, aspectos radiológicos y límites máximos permisibles), de vigilancia y control (cloro residual libre, vigilancia microbiológica), gestión de calidad del agua, tomas de muestra periódicamente, entre otros. [57]

De igual manera, el MARN (MINISTERIO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES) bajo el Decreto 68-86 y Articulo 97 del Congreso de la República de Guatemala, instituye bajo el Acuerdo Gubernativo 12-2011 y Artículo No.11-16, [58] que todos los pueblos aledaños a la cuenca del Lago Atitlán deberán velar por un correcto y responsable tratamiento de sus aguas residuales así mismo del cumplimiento con los límites máximos permisibles de contaminantes que dichas aguas residuales deben contener antes de ser vertidas al medio ambiente tales como: temperatura, grasas y aceites, materia flotante, demanda de oxígeno, sólidos en suspensión, nitrógeno, hidrógeno, fósforo, coliformes fecales, entre otros. [58]

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general:

Analizar la relación existente entre el florecimiento de cianobacteria en las aguas del Lago Atitlán y la morbilidad registrada en los servicios de los puestos salud de San Lucas Tolimán, Santiago Atitlán y San Pedro la Laguna del departamento de Sololá durante los florecimientos reportados desde el año 2011 a 2014.

3.2 Objetivos específicos:

3.2.1 Describir la morbilidad según tiempo y lugar de los pobladores que consultaron a los servicios de salud durante los años reportados con y sin florecimiento cianobacteriano.

3.2.2 Identificar cuáles son las afecciones más frecuentemente reportadas con y sin florecimiento de cianobacterias en los pobladores de los municipios estudiados que consultaron a los servicios de salud.

3.2.3 Calcular la correlación entre el florecimiento de cianobacteria y el aumento de la morbilidad general y específica registrada, con las siguientes afecciones:

- Alérgicos de hipersensibilidad (conjuntivitis, otitis, rinitis, síntomas gripales, fiebre de origen desconocido, cefalea).
- Respiratorios (resfriado común, rinitis, tos, crup, dificultad respiratoria, obstrucción nasal, odinofagia, otalgia, bronquitis (traqueobronquitis), faringitis, traqueítis, laringitis, amigdalitis, neumonía atípica, neumonía no bacteriana e infecciones respiratorias agudas).
- Dermatológicos (dermatitis atópica, dermatitis por contacto, impétigo, celulitis, absceso cutáneo y urticaria).
- gastrointestinales (gastroenteritis, infección bacteriana no especificada, diarrea aguda, nauseas, vómitos, intoxicación alimenticia, colitis, dolor abdominal, vómitos, infección intestinal).

4. HIPÓTESIS

H_i: La morbilidad registrada en los servicios de salud en las poblaciones de estudio aumenta mientras existan florecimientos de cianobacterias.

H_o: No existe correlación entre el florecimiento de cianobacterias y el aumento de morbilidad general y específica registrada en los servicios de salud de las poblaciones en estudio.

$$\mathbf{H_o:}\ r < 0.10$$

H_a: Existe correlación entre el florecimiento de cianobacterias y el aumento de la morbilidad general y específica registrada en los servicios de salud de las poblaciones en estudio.

$$\mathbf{H_a:}\ r \geq 0.10$$

5. POBLACIÓN Y MÉTODOS

5.1 Enfoque y diseño de la investigación

- Enfoque cuantitativo.
- Diseño ecológico

5.2 Unidad de análisis y de información

Unidad primaria de muestreo: Puestos de salud de San Lucas Tolimán, San Pedro la Laguna y Santiago Atitlán del departamento de Sololá.

Unidad de análisis: Información sobre diagnósticos clínicos dados a pacientes que consultaron a los puestos de salud durante los florecimientos de cianobacteria reportados en el SIGSA-WEB.

Unidad de información: Diagnósticos dados a pacientes que consultaron los puestos de salud y documentados en SIGSA-WEB, y reportes emitidos de concentración de cianobacterias por la AMSCLAE y/o por el CEA-UVG Altiplano.

5.3 Población y muestra

5.3.1 Población

Total de pacientes reportados en el SIGSA-WEB que asistieron durante los años de estudio a consulta médica a los puestos de salud. No se calculó muestra.

5.4 Selección de los sujetos a estudio

5.4.1 Criterio de selección

Totalidad de pacientes diagnosticados clínicamente y reportados en el SIGSA-WEB por signos, síntomas y/o afecciones alérgicas de hipersensibilidad (conjuntivitis, otitis, rinitis y/o síntomas gripales, fiebre de origen desconocido, cefalea), respiratorias (neumonías atípicas, resfriado común, rinitis, tos, crup, dificultad respiratoria, obstrucción nasal, odinofagia, otalgia, bronquitis, traqueobronquitis, faringitis, traqueítis, laringitis, amigdalitis, neumonía no bacteriana

e infecciones respiratorias agudas), dermatológicas (rash localizado o generalizado, erupciones cutáneas y/o vesiculares, dermatitis por contacto, urticaria, dermatitis atópica, impétigo, celulitis, absceso cutáneo y urticaria) y gastrointestinales (vómitos, diarreas, dolor abdominal no quirúrgico gastroenteritis, infección bacteriana no especificada, nauseas, intoxicación alimenticia, colitis, infección intestinal). Se exceptuaron pacientes que consultaron por enfermedades crónicas degenerativas, pacientes por control de crecimiento y desarrollo, esquema de vacunación, desnutrición crónica y morbilidades no infectocontagiosas.

5.5 Definición y operacionalización de las variables

Tabla 5.1 Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Tipo de Variable	Escala de Medición	Criterios de clasificación
Concentración de cianobacterias	Concentración celular en el manto acuático de más de 2 millones de células por litro.[36]	Dato numérico en cel/L presentados en reportes emitidos por la AMSCLAE y/o el CEA.	Numérica continua	Intervalo	cel/L
Morbilidad Registrada	Padecimientos diagnosticados clínicamente en una unidad de tiempo, en un determinado grupo de personas y registrados en el SIGSA WEB.4[1]	Totalidad de patologías registrada en una unidad de tiempo determinado.	Numérica discreta	Razón	Número de consultas
Afecciones alérgicas	Padecimientos diagnosticados por hipersensibilidad de tipo 1. [41]	Número de casos de padecimientos desencadenados por conjuntivitis, otitis, rinitis, síntomas gripales, fiebre de origen desconocido, cefalea, celulitis bucal, reportados en el SIGSA WEB en una unidad de tiempo determinado.	Numérica Discreta	Razón	Número de afecciones
Afecciones respiratorias	Padecimientos diagnosticados del sistema respiratorio.[41]	Número de casos de padecimientos de las vías respiratorias altas y bajas como resfriado común, rinitis, tos, dificultad	Numérica Discreta	Razón	Número de afecciones

		respiratoria, bronquitis (traqueobronquitis), faringitis, traqueítis, laringitis, amigdalitis, neumonía atípica y neumonía no bacteriana reportados en el SIGSA WEB en una unidad de tiempo determinado.			
Afecciones dermatológicas	Padecimientos diagnosticados en la piel. [41]	Número de casos de padecimientos de la piel tal como dermatitis atópica, dermatitis por contacto, impétigo, celulitis, absceso cutáneo y urticaria reportados en el SIGSA WEB en una unidad de tiempo determinado.	Numérica Discreta	Razón	Número de afecciones
Afecciones gastrointestinales	Padecimientos diagnosticados del sistema digestivo. [41]	Número de casos de padecimientos relacionados al sistema digestivo, tales como gastroenteritis, infección bacteriana no especificada, intoxicación alimentaria, diarrea aguda, colitis, dolor abdominal, vómitos e infección intestinal y reportados en el SIGSA WEB en una unidad de tiempo determinado.	Numérica Discreta	Razón	Número de casos

5.6 Recolección de datos

5.6.1 Técnicas

Se procedió al escrutinio del SIGSA WEB proporcionado por MSPAS de los municipios en estudio así como al ordenamiento de datos proporcionados por el CEA-UVG para la identificación de pacientes y concentraciones cianobacterianas que cumplieron con los criterios de inclusión

del presente estudio; luego de obtener la información digital se construyó una hoja electrónica en Microsoft Office Excel 2013 donde fueron tabulados los datos y ordenadas las concentraciones celulares para cada año en estudio.

5.6.2 Procesos

El proceso de recolección de datos fue llevado a cabo por el investigador, a través de fuentes involucradas en el tópico: MSPAS, MARN, PUESTOS DE SALUD, AMSCLAE, Y CEA-UVG.

Se coordinaron las respectivas reuniones con representantes de las distintas entidades Gubernamentales y no Gubernamentales relacionadas al tema de saneamiento ambiental y de salud, presentando las cartas correspondientes de autorización para dicha investigación así como la presentación del protocolo previamente autorizado por la COTRAG-USAC.

Se recolectó la información de las consultas dadas (morbilidades registradas) durante los años en estudio en los distintos Puestos de Salud, así como la solicitada por el MSPAS para la realización de una sola base de datos de morbilidades registradas; se tramitaron los permisos de las distintas organizaciones implicadas y se procedió a la demanda del cálculo de las concentraciones cianobacterianas de células por litro por parte del CEA-UVG campus altiplano.

5.6.3 Instrumento de recolección de datos

No se precisó de encuestas, test, entrevistas o formato alguno preestablecido para la recolección de datos, únicamente fue el escrutinio de información en digital, la cual fue indexada en tablas como se muestra en el apartado de Anexos Tablas 11.1 – 11.18.

5.7 Procesamiento y análisis de datos

5.7.1 Procesamiento de datos

Se procedió a la realización de un registro de la totalidad de las morbilidades dadas por mes y año, según la clasificación de variables (alérgicas, respiratorias, dermatológicas y gastrointestinales), a partir del año 2011 a 2014. Los datos recolectados fueron tabulados en una

base de datos en Microsoft Office Excel 2013 y se efectuaron ingresos dobles con el fin de garantizar la veracidad de los mismos y minimizar los errores. Posteriormente, se realizó una correlación de la demanda dada en los puestos de salud y la concentración de cianobacterias en las aguas del lago Atitlán.

La matriz se construyó en base a cada variable que fue objeto de estudio, variable a la que se le asignó un código específico y se tabuló en una tabla que facilitó la manipulación de los datos y el registro de los mismos.

Se creó una tabla para la recodificación de las variables con la cual fueron ingresadas a la base de datos y se agregaron nuevas variables las cuales fueron: Profundidad de medición de cianobacterias (profundidad a 0 mts (P0), profundidad a 5 mts (P5, profundidad a 10 mts (P10), profundidad a 20 mts (P20) y profundidad a 30 mts (30)) y concentración cianobacteriana (concentración *Limnoraphis*, concentración *Aphanizomenon*, concentración *Anabaena*, concentración *Microcystis* y concentración *Dolichospermum*) (ver tabla 4.2).

Tabla 5.2 Recodificación de variables.

Variable	Codificación	Categoría	Código
Concentración de cianobacterias	concia	• cel/L	dato
Casos alérgicos	AL	• Número de casos	#
Casos respiratorios	RES	• Número de casos	#
Casos dermatológicos	DER	• Número de casos	#
Casos gastrointestinales	GI	• Número de casos	#
Profundidad a 0 mts	DPT0	• Metros de profundidad	P0
Profundidad a 5 mts	DPT5	• Metros de profundidad	P5
Profundidad a 10 mts	DPT10	• Metros de profundidad	P10
Profundidad a 20 mts	DPT20	• Metros de profundidad	P20
Profundidad a 30 mts	DPT30	• Metros de profundidad	P30
Concentración cianobacteria *Limnoraphis*	CIAN AZ (1)	• cel/L	dato
Concentración cianobacteria *Aphanizomenon*	CIAN BZ (2)	• cel/L	dato
Concentración cianobacteria *Anabaena*	CIAN CZ (3)	• cel/L	dato
Concentración cianobacteria *Microcystis*	CIAN DZ (4)	• cel/L	dato
Concentración cianobacteria *Dolichospermum*	CIAN EZ (5)	• cel/L	dato

Fuente: elaborado por investigador.

5.7.2 Análisis de datos

Una vez completada la recolección de la información se creó una base de datos en Microsoft Office Excel 2013, en la que se efectuó estadística descriptiva, con frecuencias absolutas y relativas. Se utilizó el programa STATA® versión 14. Se presentan tablas para analizar cada objetivo.

Para el objetivo específico número uno: se presentan los datos en una tabla bivariada donde se evidencian las morbilidades dadas para cada población y el total por cada año en estudio.

Para el objetivo específico número dos: se llevó a cabo en 2 fases: la primera fase implicó la creación de tablas multivariadas donde se involucraron los meses de cada año en estudio y las concentraciones cianobacterianas a sus distintas profundidades de medición; posteriormente a la presentación de estos datos en dichas tablas se procedió a la cuantificación e indexación de la frecuencia de cada morbilidad consultada y al cálculo de sus porcentajes respecto a sus homólogos y respecto a las consultas totales durante cada año.

Para el objetivo específico número tres: se procedió a cuantificar la correlación existente entre el florecimiento cianobacteriano y el aumento de consultas dadas en los puestos de salud de las poblaciones por cada año estudiado. Se realizó test de normalidad a los datos y se aplicó prueba de correlación de Pearson o Spearman dependiendo del resultado.

Debido a que hubo muchos meses en los que no se realizó medición de la concentración de cianobacterias, se hizo un cálculo por municipio y por año, tomando en cuenta únicamente datos de los meses, géneros y profundidades que evidenciaron el mayor brote de cianobacterias.

Tabla 5.3 Correlación de Pearson

Valor r o rho:	Correlación
r< 0.10	Nula
0.10 ≤ r < 0.30	Baja
0.30 ≤ r < 0.50	Media
r ≥ 0.50	Alta

.

5.8 Alcances y límites de la investigación

5.8.1 Obstáculos

Debido a que esta investigación trata de un tema de saneamiento ambiental y salud, cuyo diseño es ecológico cuantitativo, se pudo experimentar deficiencia en la obtención de datos, ya que las instituciones involucradas en velar por el saneamiento ambiental de nuestros mantos acuáticos en Guatemala por razones ajenas a nuestra investigación, no contaban con la información concerniente al presente estudio. Tampoco se pudo asociar directamente las morbilidades con los florecimientos ya que no se cuenta con un sistema de recolección de datos estandarizado por período de florecimiento a las distintas profundidades de medición. Así mismo se pudo notar que la deficiencia en la toma de muestras del fitoplancton no solamente se da a nivel gubernativo sino por la iniciativa privada, ya que no se cuenta con los recursos suficientes para el muestreo sistemático y/o periódico del manto acuífero, de igual manera sucedió con la metodología cuántica para el procesamiento de los datos obtenidos por cel/L, lo cual prolongó la expectativa en la obtención de las variables concentración cianobacteriana de células por litro (cel/L) y por género.

5.8.2 Alcances

Se logró caracterizar el comportamiento de los brotes cianobacterianos en el Lago de Atitlán por mes y año, así como la conducta de las patologías estudiadas.

Se consiguió evidenciar la deficiencia existente en el registro de datos respecto a las concentraciones cianobacterianas. Información que es muy importante para la emisión de alertas por florecimiento.

Con los datos obtenidos se alcanzó cuantificar las patologías de mayor consulta por mes y por año en los municipios en estudio.

Se logró determinar las morbilidades que fueron de más demanda en la consulta entre la clasificación estudiada, así como analizar su relación en períodos de florecimiento y no florecimiento cianobacteriano.

De la información presente se descubrió que no solamente existieron florecimientos en los años que oficialmente fueron declarados, sino que también los hubo aisladamente durante años no reportados en las diferentes bahías estudiadas de este cuerpo de agua dulce.

Finalmente se logró evidenciar lo importante que es tomar en cuenta los muestreos periódicos sobre el manto acuático, así como el estandarizar en conjunto con MSPAS y el MARN una metodología que involucre aún los servicios de salud de la iniciativa privada en el monitoreo de las morbilidades durante los periodos de florecimiento y de no florecimiento cianobacteriano y de esta manera evitar el sesgo de información en el registro de datos relacionados a enfermedades transmitidas por el agua.

5.8.3 Límites

Durante la investigación se tuvo como limitación la recolección de datos respecto a la medición de la variable concentración cianobacteriana, ya que no se contaba con las mediciones respectivas por meses y años en dimensión células por litro. Así mismo se obtuvieron considerables datos nulos o simplemente datos cero, ya que durante un año calendario no siempre se hicieron mediciones por parte de las instituciones involucradas y simplemente las reportaron como “no medición”. Referente a las morbilidades en estudio, al ser una investigación de tipo ecológico se pudo tener sesgo de selección en la clasificación de las patologías

consultadas, sin embargo se tomó en cuenta al total de la población que cumplió con los criterios de selección.

5.9 Aspectos éticos de la investigación

5.9.1 Principios éticos generales

Beneficencia: Con la información emanada se logra beneficiar no solo a la población en estudio sino a todas aquellas que residen o tienen alguna relación con las aguas de la cuenca del Lago Atitlán, ya que se evidenció cierta relación al tener algún contacto directo o indirecto con sus aguas. Así mismo se logró ampliar el conocimiento que se tiene respecto al comportamiento de las cianobacterias en aguas eutrofizadas y cómo estas afectan la salud de la población.

No Maleficencia: Dado que fue una investigación retrospectiva en la que solamente se escudriñaron las patologías de mayor consulta registradas en el SIGSA-WEB, así como de las respectivas concentraciones celulares de cianobacterias, no se puso en riesgo en ningún momento la integridad física, psicológica, moral, social, cultural, religiosa y/o económica de algún individuo en particular.

Confidencialidad: Por cuanto se limitó al escrutinio de número de casos y no datos personales, este principio ético se cumplió a cabalidad, ya que ni siquiera se tomó en cuenta información individual como edad, genero, número de registro, ni mucho menos nombres personales, lo que evidencia que los datos antes mencionados (si bien se pudieron observar durante su clasificación) no fueron expuestos en ningún momento del estudio a terceras personas ajenas al equipo de investigación.

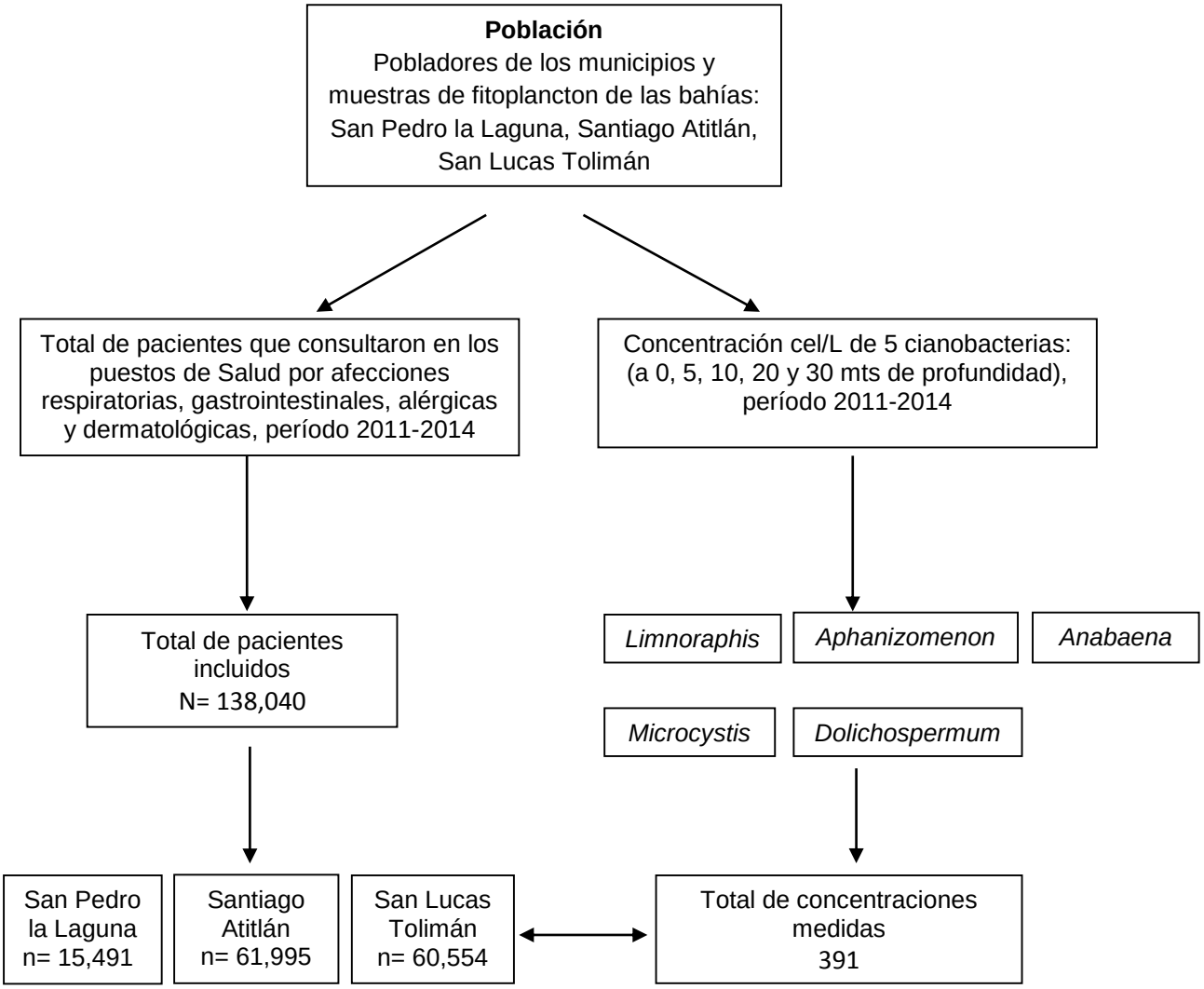
Justicia distributiva: Se utilizó la totalidad de los datos proporcionados por el CEA-UVG respecto a las concentraciones cianobacterianas y los datos proporcionados por el MSPAS a través del SIGSA-WEB referente a las morbilidades registradas. En ningún momento se tuvo contacto directo con paciente alguno, únicamente con datos digitales.

6. RESULTADOS

Este estudio se realizó en 3 municipios del departamento de Sololá, los cuales pertenecen a la cuenca del Lago de Atitlán, estos son los que hasta el año 2015 tuvieron el mayor porcentaje de utilización de las aguas del lacustre.

Se clasificaron en 4 categorías las distintas morbilidades registradas en el SIGSA-WEB 2011-2014, las cuales por marco teórico están involucradas entre las afecciones que más provocan las cianobacterias en la salud del ser humano y se midieron las concentraciones de cianobacterias durante cada año en estudio (2011-2014), según el siguiente diagrama:

Diagrama 5.1 Distribución de los datos recolectados en el estudio, 2011-2014.



A continuación se presentan datos en tablas donde se pueden apreciar los registros de morbilidades que fueron indexadas al SIGSA-WEB de cada Puesto de Salud de los municipios en estudio, se enmarcan los datos en cuadros en negrilla de los registros de mayor valor.

Tabla 6.1 Morbilidades según tiempo y lugar durante los años de florecimiento y no florecimiento cianobacteriano, período 2011-2014.

Año	San Pedro La Laguna				Santiago Atitlán				San Lucas Tolimán				Total
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
2011	**2512**	899	388	**490**	7703	1363	768	952	4763	2105	1799	1053	**24795**
2012	1679	652	345	447	11368	2397	1667	1009	7860	3102	2280	1434	34240
2013	2080	868	433	436	**14693**	2271	1652	**1077**	9330	**3624**	2806	1625	**40895**
2014	2159	**1106**	**557**	440	9552	**2478**	**2040**	1005	**10647**	3600	**2866**	**1660**	38110

1=respiratorias; 2=gastrointestinales; 3=alérgicas; 4=dermatológicas

Interpretación: Se presenta el cuadro anterior donde se observa la distribución de cada una de las enfermedades clasificadas según el sistema fisiológico afectado y el año de consulta, durante los años reportados con y sin florecimientos cianobacterianos; así, vemos que el año 2013 fue el año con mayor número de consultas registradas (40,895 = 29.62% del total en los 3 municipios). Se puede observar que el municipio que mayor afluencia de pacientes tuvo fue Santiago Atitlán con un total de 61,995 pacientes; muy de cerca le sigue San Lucas Tolimán con 60,554 pacientes, por último se encuentra San Pedro la Laguna con 15,491 pacientes (ver tabla 11.1 de anexo). Esto puede deberse a las características demográficas de cada población en estudio; así se sabe que Santiago Atitlán tiene la mayor cantidad de habitantes seguido de San Lucas Tolimán y San Pedro la Laguna. Cabe mencionar que San Lucas Tolimán podría posicionarse como el municipio de mayor afluencia en consulta, debido a que los registros están muy cercanos a los de Santiago Atitlán y esto a pesar de que San Lucas Tolimán posee mucha menor cantidad de habitantes, por lo que se puede inferir que este municipio utiliza más los servicios de salud pública. Por último vemos que el año 2011 fue el año que menos consultas se reportaron en cuanto a las morbilidades en estudio: 24,795 casos (17.96%).

A continuación se presentan tablas en las que se pueden identificar las afecciones frecuentemente consultadas en períodos de florecimiento y no florecimiento de cianobacterias en el lago de Atitlán, año 2011-2014 en los municipios de San Pedro la Laguna, Santiago Atitlán y San Lucas Tolimán. Se omiten los resultados de cianobacterias y los meses de medición en los que su concentración fue de 0 cel/L y/o en los que no se hizo mediciones. Así mismo, se parte de la premisa de que cada una de las cianobacterias fue medida a distintas profundidades y que su concentración mayor a 2 millones de cel/L es denominado "*Florecimiento"* (*Bloom*) para los respectivos géneros cianobacterianos, éstos enmarcados por recuadro en negrilla, así como las primeras 3 frecuencias de mayor porcentaje de cada una de las morbilidades en estudio.

Tabla 6.2 Concentración de cianobacteria a distintas profundidades y morbilidad registrada por mes en San Pedro la Laguna, 2011.

Mes	1					4		Morbilidades							
	P0	P5	P10	P20	P30	P0	P10	RES		GI		AL		DER	
								f	%	f	%	f	%	f	%
Enero	< 2 M	-	-	-	NM	-	< 2 M	223	8.88	65	7.23	17	4.38	41	8.37
Febrero	-	-	-	-	NM	-	-	256	10.19	53	5.90	48	12.37	10	2.04
Marzo	NM	-	NM	-	NM	NM	NM	354	14.09	94	10.46	63	16.24	74	15.10
Abril	NM	-	-	-	NM	NM	-	345	13.73	122	13.57	61	15.72	75	15.31
Mayo	> 2 M	> 2 M	> 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	305	12.14	114	12.68	34	8.76	48	9.80
Junio	NM	< 2 M	-	> 2 M	NM	NM	-	157	6.25	67	7.45	24	6.19	54	11.02
Julio	< 2 M	> 2 M	> 2 M	< 2 M	NM	-	-	251	9.99	98	10.90	37	9.54	47	9.59
Agosto	> 2 M	> 2 M	> 2 M	< 2 M	NM	-	-	157	6.25	66	7.34	30	7.73	25	5.10
Septiembre	> 2 M	> 2 M	> 2 M	< 2 M	< 2 M	-	-	133	5.29	76	8.45	27	6.96	29	5.92
Octubre	< 2 M	-	-	< 2 M	NM	-	-	124	4.94	57	6.34	16	4.12	28	5.71
Noviembre	> 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	NM	-	-	112	4.46	50	5.56	14	3.61	33	6.73
Diciembre	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	95	3.78	37	4.12	17	4.38	26	5.31
TOTAL								2512		899		388		490	

1 = Concentración cianobacteria *Limnoraphis Robusta* (cel/L); 2 = Concentración cianobacteria *Aphanizomenon* (cel/L); 3 = Concentración cianobacteria *Anabaena* (cel/L); 4 = Concentración cianobacteria *Microcystis* (cel/L); 5 = Concentración cianobacteria *Dolichospermum* (cel/L)
P0 = Profundidad de medición a 0 mts.; P5 = Profundidad de medición a 5 mts.; P10 = Profundidad de medición a 10 mts.; NM = No medición; - = No brote
RES = Enfermedades respiratorias; GI = Enfermedades gastrointestinales; AL = Enfermedades alérgicas; DER = Enfermedades dermatológicas;
Recuadros en negrilla en morbilidades: las primeras 3 de mayor frecuencia.
Recuadros en negrilla en concentraciones: > 2 M = concentración de cianobacteria >2 millones cel/L.

Interpretación: Como se puede observar en la tabla anterior, durante los meses de mayo, junio, julio, agosto, septiembre y noviembre de 2011 hubo florecimientos cianobacterianos importantes, exclusivos del género *Limnoraphis Robusta* (6 florecimientos en total), desde los 0 metros de profundidad hasta los 20 metros de profundidad. Sin embargo, también se pudo aislar en muestras de fitoplancton el género *Microcystis*, a 0 y 10 metros de profundidad durante el mes de mayo del mismo año. No obstante de los otros géneros no se presentó concentración alguna y en ciertas ocasiones no se midió dichos especímenes. Se observa también que durante el mes de diciembre no se hizo mediciones para ningún género cianobacteriano; así mismo para marzo y abril las mediciones fueron escuetas y en algunas profundidades, la concentración fue 0.

En cuanto a las morbilidades presentadas para el año 2011, el total de casos reportados fue de 4,289. Se observa que los primeros 3 meses de mayor reporte de casos de las morbilidades en estudio fueron (de mayor a menor) abril (14.06%), marzo (13.64%), y mayo (11.68%). En este mismo sentido durante este año las morbilidades que preponderaron fueron las de tipo respiratorio (58.57% = 2,512 casos), seguido de gastrointestinales (20.96% = 899 casos), dermatológicas (11.42% = 490 casos) y por último las de tipo alérgico (9.05%). De los respiratorios se puede apreciar que para los meses de marzo, abril y mayo se reportó la mayoría de los casos (14.09%, 13.73% y 12.14% respectivamente). Abril, mayo y julio para las morbilidades gastrointestinales (13.57%, 12.68% y 10.90% respectivamente) y por último marzo, abril y junio para los casos dermatológicos (15.10%, 15.31% y 11.02% respectivamente).

Tabla 6.3 Concentración de cianobacteria a distintas profundidades y morbilidad registrada por mes en San Pedro la Laguna, 2012

Mes	1				2				4				Morbilidades							
	P0	P5	P10	P20	P0	P5	P10	P20	P0	P5	P10	P20	RES		GI		AL		DER	
													f	%	f	%	f	%	f	%
Enero	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 2 M	-	-	117	6.97	39	5.98	27	7.83	37	8.28
Febrero	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	127	7.56	63	9.66	23	6.67	27	6.04
Marzo	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	187	11.14	62	9.51	26	7.54	25	5.59
Abril	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	116	6.91	69	10.58	30	8.70	29	6.49
Mayo	> 2 M	> 2 M	< 2 M	> 2 M	-	-	-	-	-	-	-	-	91	5.42	45	6.90	29	8.41	44	9.84
Junio	< 2 M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	86	5.12	51	7.82	22	6.38	33	7.38
Julio	-	-	< 2 M	-	< 2 M	-	< 2 M	-	-	-	-	-	119	7.09	74	11.35	20	5.80	38	8.50
Agosto	> 2 M	> 2 M	> 2 M	> 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	-	-	-	170	10.13	52	7.98	34	9.86	41	9.17
Septiembre	< 2 M	-	-	-	< 2 M	-	< 2 M	< 2 M	< 2 M	-	-	-	164	9.77	38	5.83	41	11.88	40	8.95
Octubre	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	188	11.20	53	8.13	40	11.59	55	12.30
Noviembre	-	-	-	-	< 2 M	< 2 M	-	< 2 M	-	-	-	< 2 M	176	10.48	70	10.74	27	7.83	44	9.84
Diciembre	-	-	-	-	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	138	8.22	36	5.52	26	7.54	34	7.61
TOTAL													1679		652		345		447	

1 = Concentración cianobacteria *Limnoraphis Robusta* (cel/L); 2 = Concentración cianobacteria *Aphanizomenon* (cel/L); 3 = Concentración cianobacteria *Anabaena* (cel/L); 4 = Concentración cianobacteria *Microcystis* (cel/L); 5 = Concentración cianobacteria *Dolichospermum* (cel/L)
P0 = Profundidad de medición a 0 mts.; P5 = Profundidad de medición a 5 mts.; P10 = Profundidad de medición a 10 mts.; NM = No medición; - = No brote
RES = Enfermedades respiratorias; GI = Enfermedades gastrointestinales; AL = Enfermedades alérgicas; DER = Enfermedades dermatológicas;
Recuadros en negrilla en morbilidades: las primeras 3 de mayor frecuencia.
Recuadros en negrilla en concentraciones: > 2 M = concentración de cianobacteria >2 millones cel/L.

Interpretación: En la tabla anterior se puede observar que durante todo el año 2012, los únicos meses que no se cuantificó concentración celular de cianobacterias fueron los meses de febrero, marzo, abril y octubre. En contraposición a los otros meses donde si hubo concentraciones especificas menores y algunas mayores a 2 millones de cel/L. Se puede apreciar que para los meses de mayo y agosto predominaron los florecimientos del género *Limnoraphis* desde los 0 hasta los 20 metros de profundidad, siendo el mes de agosto el que mayor concentración cianobacteriana presentó (más de 17 millones de cel/L). También se puede observar que de los 5 géneros de cianobacterias en estudio, durante este año se cuantificaron concentraciones importantes, que no alcanzaron el mínimo para catalogarlas como florecimientos pero que sí estuvieron presentes desde los 0 metros de profundidad, hasta los 20 metros

de profundidad, sobre todo durante el último semestre del año (*Aphanizomenon* y *Microcystis*). Por último se aprecia que para los meses de marzo y octubre no se hizo mediciones por las entidades involucradas.

En relación a las morbilidades, para este año podemos observar que del total de los casos involucrados en estudio (3,123), los que imperaron de mayor a menor fueron los de tipo respiratorio (53.76%), gastrointestinal (20.88%), dermatológico (14.31%) y alérgicos (11.05%). De estos los primeros 3 meses que mayor reporte tuvieron fueron octubre con 336 casos (10.76%), noviembre con 317 casos (10.15%) y marzo con 300 casos equivalentes al 9.61%. Vemos que durante todo el años los meses en los que predominaron los casos respiratorios fueron marzo, octubre y noviembre con el 11.14%, 11.20% y 10.48% respectivamente. Los de tipo Gastrointestinal tuvieron su repunte durante los meses de abril (10.58%), julio (11.35%) y noviembre (10.74%). Por último se aprecia que los casos Dermatológicos sobresalieron durante los meses de mayo (9.84%), octubre (12.30%) y noviembre (9.84%)

Tabla 6.4 Concentración de cianobacteria a distintas profundidades y morbilidad registrada por mes en San Pedro la Laguna, 2013

Mes	1		2	4	Morbilidades							
	P0	P10	P0	P0	RES		GI		AL		DER	
					f	%	f	%	f	%	f	%
Enero	-	-	-	-	168	8.08	67	7.72	39	9.01	37	8.49
Febrero	-	-	< 2 M	-	189	9.09	73	8.41	39	9.01	34	7.80
Marzo	-	-	-	-	135	6.49	81	9.33	29	6.70	35	8.03
Abril	< 2 M	-	-	< 2 M	175	8.41	77	8.87	33	7.62	38	8.72
Mayo	< 2 M	< 2 M	< 2 M	-	143	6.88	89	10.25	21	4.85	29	6.65
Junio	> 2 M	NM	< 2 M	-	123	5.91	87	10.02	53	12.24	19	4.36
Julio	> 2 M	NM	< 2 M	-	172	8.27	71	8.18	34	7.85	37	8.49
Agosto	> 2 M	-	< 2 M	< 2 M	191	9.18	77	8.87	36	8.31	35	8.03
Septiembre	> 2 M	NM	-	-	259	12.45	65	7.49	54	12.47	55	12.61
Octubre	NM	NM	NM	NM	146	7.02	37	4.26	22	5.08	19	4.36
Noviembre	NM	NM	NM	NM	183	8.80	61	7.03	34	7.85	46	10.55
Diciembre	NM	NM	NM	NM	196	9.42	83	9.56	39	9.01	52	11.93
TOTAL					2080		868		433		436	

1 = Concentración cianobacteria *Limnoraphis Robusta* (cel/L); 2 = Concentración cianobacteria *Aphanizomenon* (cel/L); 3 = Concentración cianobacteria *Anabaena* (cel/L); 4 = Concentración cianobacteria *Microcystis* (cel/L); 5 = Concentración cianobacteria *Dolichospermum* (cel/L)
P0 = Profundidad de medición a 0 mts.; P5 = Profundidad de medición a 5 mts.; P10 = Profundidad de medición a 10 mts.; NM = No medición; - = No brote
RES = Enfermedades respiratorias; GI = Enfermedades gastrointestinales; AL = Enfermedades alérgicas; DER = Enfermedades dermatológicas;
Recuadros en negrilla en morbilidades: las primeras 3 de mayor frecuencia.
Recuadros en negrilla en concentraciones: > 2 M = concentración de cianobacteria >2 millones cel/L.

Interpretación: Durante este año podemos observar que las mediciones y las concentraciones cianobacterianas fueron escasas y/o ausentes en algunos meses. Nuevamente vemos que predominaron las concentraciones de *Limnoraphis* y *Aphanizomenon*; a los 0 y 10 metros de profundidad para *Limnoraphis* y exclusivamente a los 0 metros de profundidad para *Aphanizomenon*. Junio, julio, agosto y septiembre fueron los meses en los que se reportaron concentraciones mayores a 2 millones de cel/L de *Limnoraphis*, cumpliendo así con el estándar para ser llamados Florecimientos cianobacterianos. Vemos que a partir de junio la concentración celular ascendió a más de 10 millones, alcanzando su mayor concentración para el mes de septiembre donde se cuantificó más de mil millones de cel/L en la superficie lacustre.

Aphanizomenon presentó en el primer trimestre (febrero) aunque a escasos 0 metros de profundidad una concentración menor a lo estandarizado para ser llamado Bloom, de un poco más de 120 mil cel/L, llegando a su mayor concentración durante junio y julio (275 mil cel/L) para agosto descender a menos de 150 mil cel/L. No se sabe cómo terminó el año respecto a este género ya que en el último trimestre se puede observar que no hubo mediciones.

Microcystis presentó una concentración no mayor a las mil cel/L y solo a 0 metros de profundidad durante los meses de abril y agosto (900 cel/L y 800 cel/L respectivamente). Tampoco se hicieron mediciones durante los últimos 3 meses del año.

Tocante a las morbilidades para este período, se puede examinar que del total de los casos (3,817) los primeros tres que más fueron reportados fueron los de tipo Respiratorio (54.49%), teniendo sus repuntes durante los meses de septiembre (12.45%), diciembre (9.42%) y agosto (9.18%), seguido de los gastrointestinales (22.74%), de los cuales la mayoría se reportó durante los meses de mayo (10.25%), junio (10.02%) y diciembre (9.42%) y por último los Dermatológicos (11.42%) para los meses de septiembre (12.61%), diciembre (11.93%) y noviembre (10.55%). No obstante, se puede apreciar que entre los Dermatológicos y los de tipo Alérgicos solo existe una diferencia de 0.08% (3 casos de diferencia). Cabe mencionar que esta discrepancia es muy estrecha para determinar que una prevaleció sobre la otra, no solo por el número de casos si no por la naturaleza misma de su clasificación.

También podemos observar que los meses que mayor afluencia tuvieron en las consultas del total de las morbilidades en estudio fueron los meses de septiembre, diciembre y agosto (11.34%, 9.69% y 8.88% respectivamente), esto con un margen muy estrecho respecto a los meses de enero, febrero, julio y noviembre en contraposición al mes de agosto.

Tabla 6.5 Concentración de cianobacteria a distintas profundidades y morbilidad registrada por mes en San Pedro la Laguna, 2014

Mes	1					2					4			Morbilidades							
	P0	P5	P10	P20	P30	P0	P5	P10	P20	P30	P0	P10	P30	RES		GI		AL		DER	
														f	%	f	%	f	%	f	%
Enero	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	194	8.99	65	5.88	55	9.87	41	9.32
Febrero	-	-	-	-	NM	-	-	-	-	NM	-	-	NM	179	8.29	93	8.41	48	8.62	35	7.95
Marzo	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	179	8.29	89	8.05	52	9.34	46	10.45
Abril	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	258	1.95	75	6.78	43	7.72	41	9.32
Mayo	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	214	9.91	119	10.76	67	12.03	44	10.00
Junio	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	157	7.27	119	10.76	43	7.72	49	11.14
Julio	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	-	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	-	< 2 M	205	9.50	120	10.85	45	8.08	51	11.59
Agosto	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	210	9.73	143	12.93	69	12.39	35	7.95
Septiembre	> 2 M	> 2 M	> 2 M	> 2 M	> 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	-	> 2 M	-	197	9.12	123	11.12	55	9.87	41	9.32
Octubre	> 2 M	> 2 M	> 2 M	> 2 M	> 2 M	< 2 M	-	< 2 M	< 2 M	< 2 M	-	-	-	135	6.25	58	5.24	27	4.85	22	5.00
Noviembre	> 2 M	> 2 M	> 2 M	> 2 M	> 2 M	-	-	-	-	-	-	-	-	106	4.91	45	4.07	26	4.67	19	4.32
Diciembre	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	125	5.79	57	5.15	27	4.85	16	3.64
TOTAL														2159		1106		557		440	

1 = Concentración cianobacteria *Limnoraphis Robusta* (cel/L); 2 = Concentración cianobacteria *Aphanizomenon* (cel/L); 3 = Concentración cianobacteria *Anabaena* (cel/L); 4 = Concentración cianobacteria *Microcystis* (cel/L); 5 = Concentración cianobacteria *Dolichospermum* (cel/L)
P0 = Profundidad de medición a 0 mts.; P5 = Profundidad de medición a 5 mts.; P10 = Profundidad de medición a 10 mts.; NM = No medición; - = No brote
RES = Enfermedades respiratorias; GI = Enfermedades gastrointestinales; AL = Enfermedades alérgicas; DER = Enfermedades dermatológicas;
Recuadros en negrilla en morbilidades: las primeras 3 de mayor frecuencia.
Recuadros en negrilla en concentraciones: > 2 M = concentración de cianobacteria >2 millones cel/L.

Interpretación: Del cuadro anterior podemos afirmar que durante el año 2014 se reportaron en 3 ocasiones (septiembre, octubre y noviembre) florecimientos cianobacterianos trascendentales de los géneros que han predominado en la región durante los años anteriores: *Limnoraphis* y *Microcystis*.

Vemos que *Limnoraphis* imperó desde los 0 metros de profundidad hasta los 30 metros de profundidad, siendo el mes de septiembre en el que se patentizó mayor concentración celular respecto a octubre y noviembre del mismo año (más de 341 millones de cel/L

desde la superficie hasta 30 metros de profundidad). Se puede apreciar que en octubre hubo un descenso en la aglomeración cianobacteriana pero en noviembre se volvieron a elevar las concentraciones de este mismo género.

Del mismo modo en este año observamos que el género *Aphanizomenon* reapareció a partir del segundo semestre desde los 0 metros de profundidad hasta los 30 metros de profundidad, situación que no se presentó en los años anteriores, no a mayor profundidad; este no como florecimiento sino solo como concentraciones que van desde las 5 mil cel/L hasta las 46 mil cel/L a toda profundidad durante los meses de julio, septiembre y octubre del mismo año.

De las morbilidades reportadas vemos que del total de ellas (4,262), fueron emitidas en mayor proporción las de tipo respiratorias, con un total de 2,159 casos (50.66%), continuando con las gastrointestinales 1,106 casos reportados (25.95%), seguidas de las alérgicas con 557 casos (13.07%) y por último las de tipo dermatológicas 440 casos (10.32%).

Así mismo podemos examinar que los meses en los que dichas patologías fueron reportadas en mayor frecuencia fueron los meses de mayo, julio y agosto con un total de 444, 421 y 457 casos respectivamente. También podemos apreciar que abril, mayo y agosto fueron los meses que mayor frecuencia de casos Respiratorios reportaron (11.95%, 9.91% y 9.73% respectivamente), agosto, septiembre y julio para los de tipo Gastrointestinal con una frecuencia del 12.93%, 11.12% y 10.85% correspondientemente. Para las alérgicas su preponderancia fue durante los meses de agosto (12.39%), mayo (12.03%) y enero y septiembre con la misma cantidad de casos reportados (55 casos) que corresponden al 9.87% del total de casos alérgicos emitidos durante el año. Las dermatológicas con una diferencia muy estrecha de casos reportados, sobresalieron en orden de mayor a menor los meses de julio con 51 casos, junio 49 casos, y marzo 46 casos, equivalentes al 11.59%, 11.14% y 10.45% respectivamente.

Tabla 6.6 Concentración de cianobacteria a distintas profundidades y morbilidad registrada por mes en Santiago Atitlán, 2011

Mes	1					4				Morbilidades							
	P0	P5	P10	P20	P30	P5	P10	P20	P30	RES		GI		AL		DER	
										f	%	f	%	f	%	f	%
Enero	NM	-	< 2 M	-	NM	< 2 M	< 2 M	< 2 M	NM	1137	14.76	122	8.95	78	10.16	101	10.61
Febrero	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	821	10.66	99	7.26	87	11.33	89	9.35
Marzo	NM	-	-	-	NM	< 2 M	-	-	NM	1011	13.12	106	7.78	87	11.33	88	9.24
Abril	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	825	10.71	131	9.61	72	9.38	99	10.40
Mayo	< 2 M	> 2 M	> 2 M	> 2 M	< 2 M	-	-	-	< 2 M	819	10.63	204	14.97	98	12.76	91	9.56
Junio	NM	> 2 M	< 2 M	NM	NM	-	-	NM	NM	824	10.70	114	8.36	62	8.07	93	9.77
Julio	< 2 M	> 2 M	< 2 M	< 2 M	NM	-	-	-	NM	1011	13.12	167	12.25	86	11.20	167	17.54
Agosto	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	533	6.92	227	16.65	77	10.03	86	9.03
Septiembre	-	-		< 2 M	< 2 M	-	-	-	0	243	3.15	70	5.14	43	5.60	38	3.99
Octubre	-	< 2 M	-	< 2 M	NM	-	-	-	NM	207	2.69	36	2.64	34	4.43	46	4.83
Noviembre	> 2 M	< 2 M	< 2 M	> 2 M	NM	-	-	-	NM	135	1.75	43	3.15	24	3.13	29	3.05
Diciembre	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	137	1.78	44	3.23	20	2.60	25	2.63
TOTAL										7703		1363		768		952	

1 = Concentración cianobacteria *Limnoraphis Robusta* (cel/L); 2 = Concentración cianobacteria *Aphanizomenon* (cel/L); 3 = Concentración cianobacteria *Anabaena* (cel/L); 4 = Concentración cianobacteria *Microcystis* (cel/L); 5 = Concentración cianobacteria *Dolichospermum* (cel/L)
P0 = Profundidad de medición a 0 mts.; P5 = Profundidad de medición a 5 mts.; P10 = Profundidad de medición a 10 mts.; NM = No medición; - = No brote
RES = Enfermedades respiratorias; GI = Enfermedades gastrointestinales; AL = Enfermedades alérgicas; DER = Enfermedades dermatológicas;
Recuadros en negrilla en morbilidades: las primeras 3 de mayor frecuencia.
Recuadros en negrilla en concentraciones: > 2 M = concentración de cianobacteria >2 millones cel/L.

Interpretación: De los datos antes expuestos se afirma que para el año 2011 hubo concentraciones cianobacterianas importantes en la región sobre todo durante el 2do. trimestre del año, tanto del género *Limnoraphis* como del género *Microcystis*, y estas a distintas profundidades del manto acuífero. No así para los géneros *Aphanizomenon*, *Anabaena* y *Dolichospermum* a distintas profundidades que durante el año no fueron medidas (febrero, abril, agosto y diciembre) y en algunas otras ocasiones presentaron concentraciones 0. También vemos que para este año se reportaron 4 Blooms durante los meses de mayo, junio, julio y noviembre para *Limnoraphis*; dichos florecimientos superaron los 2 millones de cel/L, presentándose el mayor de ellos y a escasos 0 metros de profundidad durante el mes de noviembre (más de 6 millones cel/L). Así mismo

podemos apreciar que de éste mismo género se reportó aisladamente una concentración que no superó las 20 mil cel/L durante el mes de enero y a 10 metros de profundidad. No obstante *Microcystis* solamente presentó concentraciones no mayores a 100mil cel/L durante los meses de enero, marzo y mayo.

De las morbilidades presentadas para este año, vemos que las de tipo Respiratorio predominaron durante todo el año con un total de 7,703 casos equivalentes al 71.42% del total de casos reportados, estos con una predominancia durante los meses de enero, marzo y julio (14.76%, 13.12% y 13.12% respectivamente). Se puede apreciar que en esta ocasión las enfermedades respiratorias preponderaron por mucho respecto a las otras 3 clasificaciones de enfermedades reportadas. Así, vemos que las de tipo Gastrointestinal ocupan la 2da. posición con tan solo 1,363 casos que equivalen al 12.64% de las morbilidades en estudio, estas tuvieron su prevalencia mayor durante los meses de mayo, julio y agosto (14.97%, 12.25% y 16.65% respectivamente). Seguidas a estas se encuentran las de tipo dermatológicas con el 8.83% (952 casos) con una superioridad en consulta durante los meses de enero (10.61%), abril (10.40%) y julio (17.54%). Por último las de tipo alérgicas con el 7.12% (768 casos) las que se presentaron mayormente durante febrero (11.33%), marzo (11.33%), mayo (12.76%) y julio (11.20%). Igualmente vemos que los meses de mayor consulta de dichos casos fueron los meses de enero, marzo y julio (13.33%, 11.98% y 13.27% respectivamente).

Tabla 6.7 Concentración de cianobacteria a distintas profundidades y morbilidad registrada por mes en Santiago Atitlán, 2012

Mes	1				2				4				Morbilidades							
	P0	P5	P10	P20	P0	P5	P10	P20	P0	P5	P10	P20	RES		GI		AL		DER	
													f	%	f	%	f	%	f	%
Enero	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	873	7.68	124	5.17	64	3.84	87	8.62
Febrero	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	999	8.79	154	6.42	122	7.32	56	5.55
Marzo	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	810	7.13	179	87.47	134	8.04	67	6.64
Abril	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	828	7.28	237	9.89	115	6.90	67	6.64
Mayo	< 2 M	> 2 M	< 2 M	< 2 M	-	-	-	-	-	-	-	-	1010	8.88	289	12.06	158	9.48	55	5.45
Junio	-	-	< 2 M	< 2 M	-	-	-	-	-	-	-	-	1016	8.94	156	6.51	154	9.24	65	6.44
Julio	-	-	-	-	-	< 2 M	< 2 M	< 2 M	-	-	-	-	908	7.99	270	11.26	130	7.80	101	10.01
Agosto	> 2 M	< 2 M	< 2 M	> 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	-	-	< 2 M	-	-	894	7.86	171	7.13	163	9.78	75	7.43
Septiembre	-	-	< 2 M	< 2 M	> 2 M	> 2 M	< 2 M	< 2 M	-	-	-	-	787	6.92	164	6.84	129	7.74	87	8.62
Octubre	-	-	-	< 2 M	> 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	-	-	-	-	1130	9.94	353	14.73	175	10.50	165	16.35
Noviembre	-	-	-	-	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	-	-	< 2 M	-	1145	10.07	199	8.30	181	10.86	115	11.40
Diciembre	-	-	-	-	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	968	8.52	101	4.21	142	8.52	69	6.84
TOTAL													11368		2397		1667		1009	

1 = Concentración cianobacteria *Limnoraphis Robusta* (cel/L); 2 = Concentración cianobacteria *Aphanizomenon* (cel/L); 3 = Concentración cianobacteria *Anabaena* (cel/L); 4 = Concentración cianobacteria *Microcystis* (cel/L); 5 = Concentración cianobacteria *Dolichospermum* (cel/L)
P0 = Profundidad de medición a 0 mts.; P5 = Profundidad de medición a 5 mts.; P10 = Profundidad de medición a 10 mts.; NM = No medición; - = No brote
RES = Enfermedades respiratorias; GI = Enfermedades gastrointestinales; AL = Enfermedades alérgicas; DER = Enfermedades dermatológicas;
Recuadros en negrilla en morbilidades: las primeras 3 de mayor frecuencia.
Recuadros en negrilla en concentraciones: > 2 M = concentración de cianobacteria >2 millones cel/L.

Interpretación: Con la información antes expuestos podemos concluir que durante el año 2012 fueron reportados 4 florecimientos cianobacterianos, los cuales se presentaron desde los 0 metros de profundidad hasta los 20 metros de profundidad, estos fueron exclusivos del género *Limnoraphis* y *Aphanizomenon*. Dichos blooms fueron reportados durante los meses de mayo, agosto, septiembre y octubre, en concentraciones que superan los 2 millones de cel/L. Siendo el mes de agosto el mes que mayor concentración presentó (más de 6 millones de cel/L) a 20 metros de profundidad para el género *Limnoraphis*. *Aphanizomenon* presentó una concentración que superó los 4 millones de cel/L durante el mes de septiembre a escasos 0 metros de profundidad, así como también se obtuvieron concentraciones a los 5, 10 y 20 metros de profundidad para ese mismo mes. Vemos que éste género reportó

nuevamente un 2do. florecimiento durante el mes de octubre que superó los 2 millones de cel/L a los 0 metros de profundidad, cuantificándose también concentraciones importantes desde los 5 hasta los 20 metros de profundidad durante el mismo mes. Terminando el año con este género con concentraciones celulares bastante importantes a toda profundidad exceptuando a los 30 metros de profundidad que durante todo el año nunca fue medida dicha profundidad para ninguno de los géneros en estudio. Por último podemos observar que durante este año el género *Microcystis* reapareció mas no como florecimiento pero sí en concentraciones celulares que no superaron las 500 mil cel/L y únicamente para el mes de agosto a los 5 metros de profundidad, noviembre a los 10 metros de profundidad y diciembre de 0 a 20 metros de profundidad; y que durante todo este año, el único mes en el que no se tuvieron mediciones cianobacterianas fue el mes de marzo.

Referente a las morbilidades atendidas, podemos determinar que nuevamente las de tipo Respiratorio ocupan la cima de las primeras 3 morbilidades de mayor consulta durante el año, con un total de 11,368 casos equivalentes al 69.14% del total de los casos. Seguidas a estas encontramos por una gran diferencia las de tipo Gastrointestinal con 2,397 casos (14.58%), las alérgicas con 1,667 casos (10.14%) y por último las de tipo dermatológicas con 1,009 casos (6.14%). Vemos que todas ellas prevalecieron en consulta de mayor a menor durante el mes de octubre (11.09%), noviembre (9.98%) y mayo (9.20%).

Para las morbilidades de tipo Respiratorio observamos que estas tuvieron su auge en el mes de noviembre (10.07%), seguido de octubre (9.94%) y por último junio (8.94%). Del total de las gastrointestinales su mayor consulta se obtuvo en el mes de octubre (14.73%), continuando con el mes de mayo (12.06%) y en julio un 11.26% de los casos de este tipo. De las morbilidades alérgicas en noviembre se obtuvo la mayor afluencia de los casos (10.86%), seguido de octubre (10.50%) y por último agosto con un 9.78%. para finalizar vemos que las enfermedades de tipo dermatológicas ocuparon el último lugar de consulta con tan solo un 6.14% del total de las consultas estudiadas.

Tabla 6.8 Concentración de cianobacteria a distintas profundidades y morbilidad registrada por mes en Santiago Atitlán, 2013

Mes	1				2				4	Morbilidades							
										RES		GI		AL		DER	
	P0	P5	P10	P20	P0	P5	P10	P20	P0	f	%	f	%	f	%	f	%
Enero	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1286	8.75	210	9.25	105	6.36	129	11.98
Febrero	-	-	-	-	< 2 M	-	-	-	-	1539	10.47	310	13.65	180	10.90	81	7.52
Marzo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1274	8.67	229	10.08	141	8.54	63	5.85
Abril	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1579	10.75	279	12.29	183	11.08	82	7.61
Mayo	> 2 M	-	-	-	> 2 M	-	-	-	-	1183	8.05	209	9.20	173	10.47	84	7.80
Junio	> 2 M	< 2 M	-	> 2 M	> 2 M	< 2 M	< 2 M	> 2 M	-	1185	8.07	118	5.20	127	7.69	148	13.74
Julio	> 2 M	> 2 M	< 2 M	> 2 M	> 2 M	< 2 M	< 2 M	> 2 M	-	1226	8.34	155	6.83	147	8.90	72	6.69
Agosto	> 2 M	NM	NM	NM	< 2 M	NM	NM	NM	-	1441	9.81	184	8.10	131	7.93	125	11.61
Septiembre	> 2 M	NM	NM	NM	< 2 M	NM	NM	NM	< 2 M	1228	8.36	112	4.93	133	8.05	51	4.74
Octubre	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	1036	7.05	127	5.59	136	8.23	81	7.52
Noviembre	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	1198	8.15	166	7.31	88	5.33	101	9.38
Diciembre	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	518	3.53	172	7.57	108	6.54	60	5.57
TOTAL										14693		2271		1652		1077	

1 = Concentración cianobacteria *Limnoraphis Robusta* (cel/L); 2 = Concentración cianobacteria *Aphanizomenon* (cel/L); 3 = Concentración cianobacteria *Anabaena* (cel/L); 4 = Concentración cianobacteria *Microcystis* (cel/L); 5 = Concentración cianobacteria *Dolichospermum* (cel/L)
P0 = Profundidad de medición a 0 mts.; P5 = Profundidad de medición a 5 mts.; P10 = Profundidad de medición a 10 mts.; NM = No medición; - = No brote
RES = Enfermedades respiratorias; GI = Enfermedades gastrointestinales; AL = Enfermedades alérgicas; DER = Enfermedades dermatológicas;
Recuadros en negrilla en morbilidades: las primeras 3 de mayor frecuencia.
Recuadros en negrilla en concentraciones: > 2 M = concentración de cianobacteria >2 millones cel/L.

Interpretación: Del cuadro anterior podemos aseverar que durante el año 2013 el comportamiento de las cianobacterias fue muy variado respecto a sus concentraciones y a las distintas profundidades de medición, así mismo vemos que de los géneros en estudio únicamente prevalecieron *Limnoraphis*, *Aphanizomenon* y en una única concentración que no superó las 10 mil cel/L cuantificada a 0 metros de profundidad, *Microcystis* (septiembre 2013).

En este mismo sentido podemos observar que durante el último trimestre del año (octubre-diciembre) no se tuvieron mediciones de cianobacterias en el manto acuífero por las entidades correspondientes. No obstante vemos que desde el mes de mayo hasta septiembre de ese mismo año el género *Limnoraphis Robusta* presentó florecimientos que fueron desde los 2 millones de cel/L hasta más de 3 mil millones de cel/L, meses que desde los 0 metros de profundidad hasta los 20 metros de profundidad fueron reportados como Blooms. El mes que mayor concentración de *Limnoraphis* tuvo fue el mes de septiembre y esto a escasos 0 metros de profundidad pues los siguientes metros no fueron medidos. Junio y julio fueron los únicos 2 meses que presentaron florecimientos de este género desde los 0 hasta los 20 metros de profundidad.

Del género *Aphanizomenon* se puede asegurar que de este se reportaron 3 florecimientos importantes durante los meses de mayo, junio y julio que superaron las 2 millones de cel/L hasta los 4 millones. Durante el mes de mayo de este género se reportó una única concentración categorizada como florecimiento a los 0 metros de profundidad, no así a los metros más profundos cuya concentración fue de 0 cel/L. Junio y julio sus florecimientos se evidenciaron a los 0 y 20 metros de profundidad y en febrero se reportó a escasos 0 metros de profundidad una concentración no mayor a 50 mil cel/L. Por último, vemos que a 30 metros de profundidad no se tuvo ninguna medición para las cianobacterias en estudio durante todo el año.

Concerniente a las morbilidades consultadas para este año (19,693 casos), se puede afirmar que una vez más las de tipo Respiratorio ocuparon el primer lugar en la consulta reportada (74.61%), seguido de las gastrointestinales (11.53%), alérgicas (8.39%) y dermatológicas (5.47%). Estas prevalecieron durante los meses de abril con 2,123 casos (10.78%), febrero 2,110 casos (10.71%) y agosto con 1,881 casos reportados (9.55%).

En este mismo sentido, vemos que durante el año las patologías de tipo Respiratorio preponderaron durante los meses de febrero (10.47%), abril (10.75%) y agosto (9.81%); las gastrointestinales en febrero (13.65%), marzo (10.08%) y abril (12.29%), y las alérgicas durante los meses de febrero (10.90%), abril (11.08%) y mayo (10.47%). Por ultimo las de tipo dermatológicas prevalecieron durante enero, junio y agosto (11.98%, 13.74% y 11.61% respectivamente), estas con la frecuencia más pequeña en consultas durante todo el año de 5.47% del total de las morbilidades reportadas.

Tabla 6.9 Concentración de cianobacteria a distintas profundidades y morbilidad registrada por mes en Santiago Atitlán, 2014

Mes	1					2					4					Morbilidades							
	P0	P5	P10	P20	P30	P0	P5	P10	P20	P30	P0	P5	P10	P20	P30	RES f	RES %	GI f	GI %	AL f	AL %	DER f	DER %
Enero	> 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	NM	-	-	-	-	NM	-	-	-	-	NM	953	9.98	234	9.44	158	7.75	83	8.26
Febrero	-	< 2 M	-	-	-	-	-	-	< 2 M	-	-	-	-	-	-	976	10.22	211	8.51	170	8.33	70	6.97
Marzo	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	1088	11.39	290	11.70	210	10.29	86	8.56
Abril	< 2 M	-	-	-	-	< 2 M	-	-	< 2 M	-	-	-	-	-	-	1067	11.17	241	9.73	223	10.93	90	8.96
Mayo	-	-	-	-	-	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	-	< 2 M	< 2 M	< 2 M	-	-	1029	10.77	237	9.56	188	9.22	94	9.35
Junio	-	-	< 2 M	-	-	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	-	-	< 2 M	-	< 2 M	< 2 M	812	8.50	248	10.01	194	9.51	109	10.85
Julio	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	> 2 M	> 2 M	< 2 M	-	753	7.88	204	8.23	203	9.95	98	9.75
Agosto	> 2 M	> 2 M	> 2 M	> 2 M	> 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	-	< 2 M	> 2 M	> 2 M	< 2 M	633	6.63	177	7.14	159	7.79	60	5.97
Septiembre	> 2 M	> 2 M	> 2 M	> 2 M	> 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	-	-	-	-	-	587	6.15	156	6.30	173	8.48	98	9.75
Octubre	> 2 M	> 2 M	> 2 M	> 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	-	-	-	-	-	569	5.96	179	7.22	122	5.98	92	9.15
Noviembre	> 2 M	> 2 M	> 2 M	> 2 M	> 2 M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	635	6.65	202	8.15	140	6.86	66	6.57
Diciembre	> 2 M	> 2 M	> 2 M	NM	NM	-	-	-	NM	NM	-	-	-	NM	NM	450	4.71	99	4.00	100	4.90	59	5.87
TOTAL																9552		2478		2040		1005	

1 = Concentración cianobacteria *Limnoraphis Robusta* (cel/L); 2 = Concentración cianobacteria *Aphanizomenon* (cel/L); 3 = Concentración cianobacteria *Anabaena* (cel/L); 4 = Concentración cianobacteria *Microcystis* (cel/L); 5 = Concentración cianobacteria *Dolichospermum* (cel/L)
P0 = Profundidad de medición a 0 mts.; P5 = Profundidad de medición a 5 mts.; P10 = Profundidad de medición a 10 mts.; NM = No medición; - = No brote
RES = Enfermedades respiratorias; GI = Enfermedades gastrointestinales; AL = Enfermedades alérgicas; DER = Enfermedades dermatológicas;
Recuadros en negrilla en morbilidades: las primeras 3 de mayor frecuencia.
Recuadros en negrilla en concentraciones: > 2 M = concentración de cianobacteria >2 millones cel/L.

Interpretación: Afirmamos con los datos antes expuestos que el año 2014 inició con un florecimiento de cianobacterias de más de 2 millones de cel/L del género *Limnoraphis*, a los 0 metros de profundidad y en concentraciones no menos importantes pero tampoco ausentes a los 5-20 metros de profundidad de este mismo género. Podemos observar a grandes rasgos que durante todo este año se reportaron 7 episodios de florecimiento cianobacteriano del género *Limnoraphis* y *Microcystis*. También podemos aseverar que las cianobacterias del género *Aphanizomenon* hicieron su aparecimiento (mas no como Blooms) desde los 0 metros hasta los 30 metros de profundidad desde el mes de febrero, prevaleciendo a toda profundidad desde el mes de julio a octubre del mismo año.

De igual forma vemos que *Limnoraphis* apareció en el mes de enero como florecimiento, y se mantuvo en concentraciones mínimas a sus respectivas profundidades durante los meses siguientes, para ausentarse en el mes de mayo y reaparecer en junio a los 10 metros de profundidad. Junio y julio se mantuvo en concentraciones por debajo al estándar para catalogarlas como florecimientos (Blooms). En agosto se presentó a toda profundidad como florecimientos hasta el mes de diciembre, exceptuando durante este mes, las profundidades a los 20 y 30 metros, pues no hubieron mediciones a estas honduras.

Concluyendo con el reporte de cianobacterias, el género *Microcystis* se presentó desde el mes de mayo en concentraciones mínimas a las 2 millones de cel/L desde los 0 a 10 metros de profundidad, de igual manera en el mes de junio a los 5, 20 y 30 metros de profundidad, para culminar su aparecimiento como florecimientos, superando los 3 millones de cel/L durante los meses de julio y agosto a sus respetivas profundidades.

Por último podemos observar que durante todo el año únicamente el mes de marzo no se efectuó mediciones.

Concerniente a los padecimientos consultados para este año, vemos que el total en consultas fue de 15,075 casos registrados, de los cuales los Respiratorios ocupan el 1er. lugar de con un 63.36% (9,552 casos). Estos fueron reportados con mayor prevalencia durante los meses de marzo (11.39%), abril (11.17%) y mayo (10.77%). Seguido de ellos los gastrointestinales 16.44% (2,478 casos), con una afluencia en consulta durante los meses de marzo, abril y junio (11.70%, 9.73% y 10.01% respectivamente). Alérgicos 13.53% (2,040 casos) consultados de mayor a menor durante abril (10.93%), marzo (10.29%) y julio (9.95%). Por último los de tipo Dermatológicos con un 6.67% equivalentes a 1,005 casos reportados.

Por último se observa que los meses que mayor prevalencia de morbilidades tuvieron fueron los meses de marzo, abril y mayo con un total de 4,843 casos durante estos 3 meses (32.13%).

Tabla 6.10 Concentración de cianobacteria a distintas profundidades y morbilidad registrada por mes en San Lucas Tolimán, 2011

Mes	1					4		Morbilidades							
	P0	P5	P10	P20	P30	P5	P20	RES		GI		AL		DER	
								f	%	f	%	f	%	f	%
Enero	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	323	6.78	160	7.60	576	32.02	29	2.75
Febrero	-	-	-	-	NM	-	-	236	4.95	148	7.03	25	1.39	34	3.23
Marzo	-	-	-	-	NM	-	-	256	5.37	196	9.31	91	5.06	83	7.88
Abril	NM	< 2 M	-	-	NM	< 2 M	< 2 M	457	9.59	212	10.07	45	2.50	81	7.69
Mayo	< 2 M	< 2 M	> 2 M	< 2 M	NM	< 2 M	-	190	3.99	115	5.46	55	3.06	85	8.07
Junio	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	107	2.25	273	12.97	71	3.95	47	4.46
Julio	> 2 M	< 2 M	> 2 M	< 2 M	NM	-	-	647	13.58	304	14.44	212	11.78	167	15.86
Agosto	< 2 M	> 2 M	< 2 M	< 2 M	NM	< 2 M	-	475	9.97	134	6.37	142	7.89	103	9.78
Septiembre	< 2 M	< 2 M	-	> 2 M	> 2 M	-	-	472	9.91	138	6.56	139	7.73	98	9.31
Octubre	< 2 M	-	< 2 M	< 2 M	NM	-	-	624	13.10	120	5.70	132	7.34	121	11.49
Noviembre	-	-	< 2 M	-	NM	-	-	564	11.84	158	7.51	157	8.73	120	11.40
Diciembre	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	412	8.65	147	6.98	154	8.56	85	8.07
TOTAL								4763		2105		1799		1053	

1 = Concentración cianobacteria *Limnoraphis Robusta* (cel/L); 2 = Concentración cianobacteria *Aphanizomenon* (cel/L); 3 = Concentración cianobacteria *Anabaena* (cel/L); 4 = Concentración cianobacteria *Microcystis* (cel/L); 5 = Concentración cianobacteria *Dolichospermum* (cel/L)
P0 = Profundidad de medición a 0 mts.; P5 = Profundidad de medición a 5 mts.; P10 = Profundidad de medición a 10 mts.; NM = No medición; - = No brote
RES = Enfermedades respiratorias; GI = Enfermedades gastrointestinales; AL = Enfermedades alérgicas; DER = Enfermedades dermatológicas;
Recuadros en negrilla en morbilidades: las primeras 3 de mayor frecuencia.
Recuadros en negrilla en concentraciones: > 2 M = concentración de cianobacteria >2 millones cel/L.

Interpretación: Del cuadro anterior podemos afirmar que para este año fueron reportados 4 florecimientos importantes de cianobacterias. Así mismo se puede apreciar que en el año y durante 3 meses no se hicieron mediciones sobre el lacustre los cuales acaecieron durante los meses de enero, junio y diciembre 2011.

Nuevamente observamos que prevalecieron las concentraciones positivas para las especies *Limnoraphis Robusta* y *Microcystis* Sp., esta última con predominancia a los 5 y 20 metros de profundidad durante el mes de abril y durante el mes de mayo y agosto exclusivamente a los 5 metros de profundidad; mediciones que no superaron las 2 millones de cel/L para ser llamados florecimientos.

La especie *Limnoraphis* sin embargo, si presentó 4 florecimientos importantes durante este año a profundidades de 10 metros para el mes de mayo, 0 y 10 metros para julio, 5 metro para agosto y para setiembre a 20 y 30 metros de profundidad. Vemos que la mayor concentración de esta cianobacteria ocurrió durante el mes de julio con más de 8 millones de cel/L.

Por último se concluye que *Aphanizomenon*, *Anabaena* y *Dolichospermum* durante todo este año presentaron concentraciones 0 a toda profundidad excepto durante los 3 meses en los que no hubieron mediciones.

Referente a las morbilidades reportadas y que son motivo de estudio, notamos que el total de casos superaron las 9,000 consultas de las morbilidades presentadas para este año. De ellas las que prevalecieron fueron las de tipo Respiratorio con un 49% del total de los casos, seguidas de las gastrointestinales con 2,105 casos equivalentes al 21.66%, las alérgicas 18.51% (1,799 casos) y por último las dermatológicas con 10.83% (1,053 casos). Todas ellas predominaron durante los meses de enero, julio y noviembre (11.19%, 13.68% y 10.28% respectivamente).

Así mismo, vemos que la categoría de morbilidades respiratorias preponderaron durante los meses de julio (13.58%), octubre (13.10%) y noviembre (11.84%); mientras que las gastrointestinales lo hicieron en abril, junio y julio (10.07%, 12.97% y 14.44% respectivamente). De igual modo las alérgicas en enero (32.02%), julio (11.78%) y noviembre (8.73%). Culminando con las dermatológicas las cuales prevalecieron durante julio octubre y noviembre.

Tabla 6.11 Concentración de cianobacteria a distintas profundidades y morbilidad registrada por mes en San Lucas Tolimán, 2012

Mes	1				2				4				Morbilidades							
	P0	P5	P10	P20	P0	P5	P10	P20	P0	P5	P10	P20	RES		GI		AL		DER	
													f	%	f	%	f	%	f	%
Enero	-	NM	NM	NM	-	NM	NM	NM	-	NM	NM	NM	505	6.42	247	7.96	145	6.36	128	8.93
Febrero	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	657	8.36	269	8.67	166	7.28	100	6.97
Marzo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	813	10.34	318	10.25	195	8.55	120	8.37
Abril	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	707	8.99	273	8.80	176	7.72	158	11.02
Mayo	> 2 M	-	< 2 M	< 2 M	-	-	-	-	-	-	-	-	713	9.07	362	11.67	190	8.33	95	6.62
Junio	> 2 M	< 2 M	> 2 M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	665	8.46	266	8.58	196	8.60	116	8.09
Julio	> 2 M	-	-	-	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	-	-	-	-	653	8.31	206	6.64	222	9.74	122	8.51
Agosto	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	523	6.65	242	7.80	238	10.44	132	9.21
Septiembre	-	-	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	-	< 2 M	-	-	-	-	498	6.34	207	6.67	115	5.04	104	7.25
Octubre	< 2 M	< 2 M	-	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	-	-	-	-	738	9.39	267	8.61	220	9.65	127	8.86
Noviembre	-	-	-	-	< 2 M	< 2 M	< 2 M	-	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	733	9.33	252	8.12	225	9.87	139	9.69
Diciembre	-	-	-	-	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	655	8.33	193	6.22	192	8.42	93	6.49
TOTAL													7860		3102		2280		1434	

1 = Concentración cianobacteria *Limnoraphis Robusta* (cel/L); 2 = Concentración cianobacteria *Aphanizomenon* (cel/L); 3 = Concentración cianobacteria *Anabaena* (cel/L); 4 = Concentración cianobacteria *Microcystis* (cel/L); 5 = Concentración cianobacteria *Dolichospermum* (cel/L)
P0 = Profundidad de medición a 0 mts.; P5 = Profundidad de medición a 5 mts.; P10 = Profundidad de medición a 10 mts.; NM = No medición; - = No brote
RES = Enfermedades respiratorias; GI = Enfermedades gastrointestinales; AL = Enfermedades alérgicas; DER = Enfermedades dermatológicas;
Recuadros en negrilla en morbilidades: las primeras 3 de mayor frecuencia.
Recuadros en negrilla en concentraciones: > 2 M = concentración de cianobacteria >2 millones cel/L.

Interpretación: Durante este año, podemos aseverar por los datos antes expuestos que los únicos géneros que no tuvieron ningún reporte de concentración mucho menos en florecimiento cianobacteriano fueron *Anabaena* y *Dolichospermum*, y que los únicos dos meses donde no se hicieron mediciones sobre el manto acuático a ninguna profundidad fueron enero y agosto.

En este mismo sentido vemos que nuevamente durante este año los géneros *Limnoraphis*, *Aphanizomenon* y *Microcystis* tuvieron concentraciones importantes a sus respectivos meses y metros de profundidad. Así también se tuvieron para este año 3 reportes de florecimiento exclusivos del género *Limnoraphis Robusta* a 0 y 10 metros de profundidad durante los meses de mayo, junio y julio.

Mayo y julio específicamente a 0 metros y junio a 0 y 10 metros de profundidad. Vemos que la mayor concentración para este género se obtuvo para el mes de julio siendo esta mayor a 10 millones de cel/L seguida de la que se obtuvo en mayo la cual superó los 8 millones de cel/L en la superficie. En esta misma línea observamos que durante septiembre y octubre aún se reportaron concentraciones que no superaron los 2 millones de cel/L pero que sí estuvieron presentes en las aguas del lacustre.

Notamos que para la especie *Aphanizomenon* esta se mantuvo presente durante todo el segundo semestre del año a excepción del mes de agosto donde no hubo medición para ninguna cianobacteria. Vemos que para este género no se presentaron florecimientos en ninguno de los meses sin embargo se mantuvo presente a toda profundidad (0-20 mts.).

Finalmente para el género *Microcystis* podemos afirmar que esta también se mantuvo presente pero únicamente durante los 2 últimos meses del año (noviembre, diciembre) desde los 0 hasta los 20 metros de profundidad, bajo concentraciones que no superaron los 2 millones de cel/L como para ser catalogados como florecimientos

Cabe mencionar que solo durante 1 mes calendario se tomaron muestras de fitoplancton a profundidad de 30 metros y esto sucedió únicamente durante el mes de abril, no así en los 11 meses restantes.

Concerniente a las consultas dadas, podemos afirmar que estas en su totalidad fueron de 14,676, de las cuales las de mayor consulta fueron las de tipo respiratorias (53.56%), las cuales predominaron durante los meses de marzo (10.34%), octubre (9.39%) y noviembre (9.33%); seguidas de las gastrointestinales con un 21.14% del total consultado, que prevalecieron en marzo (10.25%), abril (8.80%) y mayo (11.67%); 15.54% para las alérgicas, con la mayor afluencia consultada durante julio (9.74%), agosto (10.44%) y noviembre (9.87%); y 9.77% para las dermatológicas.

Vemos también que las morbilidades presentadas para este año estuvieron muy parejas en su prevalencia por mes; así, observamos que durante los meses de marzo, mayo, octubre y noviembre (9.85%, 9.27%, 9.21% y 9.19% respectivamente) fueron los meses con mayor afluencia en consulta para el total de padecimientos presentados.

Tabla 6.12 Concentración de cianobacteria a distintas profundidades y morbilidad registrada por mes en San Lucas Tolimán, 2013

Mes	1				2	Morbilidades							
	P0	P5	P10	P20	P0	RES		GI		AL		DER	
						f	%	f	%	f	%	f	%
Enero	-	-	-	-	-	857	9.19	273	7.53	184	6.56	106	6.52
Febrero	-	-	-	-	< 2 M	983	10.54	248	6.84	218	7.77	107	6.58
Marzo	-	-	-	-	< 2 M	689	7.38	419	11.56	220	7.84	99	6.09
Abril	-	-	-	-	-	839	8.99	552	15.23	284	10.12	136	8.37
Mayo	< 2 M	-	< 2 M	< 2 M	-	847	9.08	484	13.36	212	7.56	163	10.03
Junio	> 2 M	NM	NM	NM	< 2 M	634	6.80	268	7.40	228	8.13	150	9.23
Julio	> 2 M	NM	NM	NM	< 2 M	700	7.50	220	6.07	174	6.20	156	9.60
Agosto	NM	NM	NM	NM	NM	639	6.85	135	3.73	216	7.70	101	6.22
Septiembre	NM	NM	NM	NM	NM	748	8.02	206	5.68	230	8.20	138	8.49
Octubre	NM	NM	NM	NM	NM	946	10.14	224	6.18	254	9.05	192	11.82
Noviembre	NM	NM	NM	NM	NM	733	7.86	261	7.20	390	13.90	157	9.66
Diciembre	NM	NM	NM	NM	NM	715	7.66	334	9.22	196	6.99	120	7.38
TOTAL						9330		3624		2806		1625	

1 = Concentración cianobacteria *Limnoraphis Robusta* (cel/L); 2 = Concentración cianobacteria *Aphanizomenon* (cel/L); 3 = Concentración cianobacteria *Anabaena* (cel/L); 4 = Concentración cianobacteria *Microcystis* (cel/L); 5 = Concentración cianobacteria *Dolichospermum* (cel/L)
P0 = Profundidad de medición a 0 mts.; P5 = Profundidad de medición a 5 mts.; P10 = Profundidad de medición a 10 mts.; NM = No medición; - = No brote
RES = Enfermedades respiratorias; GI = Enfermedades gastrointestinales; AL = Enfermedades alérgicas; DER = Enfermedades dermatológicas;
Recuadros en negrilla en morbilidades: las primeras 3 de mayor frecuencia.
Recuadros en negrilla en concentraciones: > 2 M = concentración de cianobacteria >2 millones cel/L.

Interpretación: De los datos antes expuestos, se puede aseverar que durante este año no hubo muchas mediciones realizadas y las pocas que hubieron del fitoplancton en el lacustre en varias ocasiones arrojaron datos 0 a distintas profundidades; así, vemos que de enero a julio fueron los únicos 7 meses en los que sí hubo medición de estos especímenes y el resto del año no hubo actividad en medición por las entidades involucradas.

Podemos apreciar que en este año se lograron medir de 0 a 20 metros de profundidad todas las especies implicadas (solo en los meses antes mencionados), aun cuando su resultado en la mayoría de ellas fue de 0 cel/L (ver tabla correspondiente en anexos), a excepción del género *Limnoraphis* y *Aphanizomenon* las cuales a 0 metros de profundidad presentaron concentraciones importantes: florecimiento para *Limnoraphis Robusta* en junio y julio (únicos 2 blooms presentados durante el año). *Aphanizomenon* presente aunque en poca concentración en febrero y marzo para luego reaparecer en junio y julio.

Tocante a las morbilidades reportadas estas fueron en total de 17,385 casos, los cuales fueron reportados en su mayoría durante los meses de abril (1,811 casos), mayo (1,706 casos) y octubre (1,616 casos). De estos los de mayor prevalencia durante el año fueron los de tipo Respiratorio con un 53.67%, seguido de los gastrointestinales 20.85%, Alérgicos 16.14% y Dermatológicos 9.35%.

Vemos que los Respiratorios prevalecieron en enero (9.19%), febrero (10.54%) y octubre (10.14%) aunque durante los meses restantes se mantuvieron por encima de los 700 casos por mes. De los gastrointestinales estos predominaron en marzo, abril y mayo (11.56%, 15.23% y 13.36% respectivamente). Respecto a los Alérgicos estos preponderaron durante los meses de abril (10.12%), octubre (11.82%) y noviembre (13.90%). Finalmente los Dermatológicos se dieron más durante mayo, octubre y noviembre (10.03%, 11.82% y 9.66% correspondientemente).

Tabla 6.13 Concentración de cianobacteria a distintas profundidades y morbilidad registrada por mes en San Lucas Tolimán, 2014

Mes	1					2					4					MORBILIDAD							
	P0	P5	P10	P20	P30	P0	P5	P10	P20	P30	P0	P5	P10	P20	P30	RES		GI		AL		DER	
																f	%	f	%	f	%	f	%
Enero	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	753	7.07	250	6.94	201	7.01	130	7.83
Febrero	-	-	-	-	NM	-	-	-	-	NM	-	-	-	-	NM	770	7.23	239	6.64	197	6.87	100	6.02
Marzo	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	879	8.26	322	8.94	267	9.32	132	7.95
Abril	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	1245	11.69	383	10.64	271	9.46	153	9.22
Mayo	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	1181	11.09	360	10.00	200	6.98	137	8.25
Junio	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	854	8.02	317	8.81	254	8.86	121	7.29
Julio	< 2 M	< 2 M	< 2 M	-	< 2 M	-	-	-	-	-	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2 M	< 2	902	8.47	357	9.92	271	9.46	258	15.54
Agosto	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	934	8.77	259	7.19	217	7.57	111	6.69
Septiembre	> 2 M	> 2 M	> 2 M	> 2 M	> 2 M	< 2 M	< 2 M	-	< 2 M	< 2 M	< 2 M	-	< 2 M	-	-	880	8.27	225	6.25	298	10.40	164	9.88
Octubre	> 2 M	> 2 M	> 2 M	> 2 M	> 2 M	< 2 M	-	< 2 M	< 2 M	< 2 M	-	-	-	-	-	804	7.55	424	11.78	243	8.48	150	9.04
Noviembre	> 2 M	> 2 M	< 2 M	> 2 M	> 2 M	-	-	< 2 M	-	-	-	-	-	-	-	670	6.29	207	5.75	195	6.80	107	6.45
Diciembre	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	775	7.28	257	7.14	252	8.79	97	5.84
TOTAL																10647		3600		2866		1660	

1 = Concentración cianobacteria *Limnoraphis Robusta* (cel/L); 2 = Concentración cianobacteria *Aphanizomenon* (cel/L); 3 = Concentración cianobacteria *Anabaena* (cel/L); 4 = Concentración cianobacteria *Microcystis* (cel/L); 5 = Concentración cianobacteria *Dolichospermum* (cel/L)
P0 = Profundidad de medición a 0 mts.; P5 = Profundidad de medición a 5 mts.; P10 = Profundidad de medición a 10 mts.; NM = No medición; - = No brote
RES = Enfermedades respiratorias; GI = Enfermedades gastrointestinales; AL = Enfermedades alérgicas; DER = Enfermedades dermatológicas;
Recuadros en negrilla en morbilidades: las primeras 3 de mayor frecuencia.
Recuadros en negrilla en concentraciones: > 2 M = concentración de cianobacteria >2 millones cel/L.

Interpretación: De los datos antes expuestos podemos ver que durante este año se reportaron 7 meses sin medición, y 3 meses únicos con florecimientos cianobacterianos. También podemos afirmar que los géneros que prevalecieron durante este año fueron *Limnoraphis*, *Aphanizomenon* y *Microcystis* desde los 0 metros de profundidad hasta los 30 metros. Los únicos meses en los que se realizaron mediciones fueron febrero, julio, septiembre, octubre y noviembre. De igual manera se puede aseverar que durante estos meses de medición se lograron cuantificar los 5 géneros cianobacterianos aunque la mayoría de ellos reportaron concentración 0 a toda profundidad. Así, vemos que para febrero las concentraciones todas fueron de 0 cel/L desde los 0 hasta los 20 metros de profundidad.

También durante este año se reportaron 3 florecimientos cianobacterianos característicos de *Limnoraphis* a toda profundidad, los cuales se dieron durante los meses de septiembre, octubre y noviembre; ocurriendo el mayor de ellos en septiembre con una concentración que superó las 500 millones de cel/L a 0 metros de profundidad.

Aphanizomenon se presentó durante septiembre, octubre y noviembre mas no como florecimientos, pero si como concentraciones que superaron las 10 mil cel/L desde los 0 hasta los 30 metros de profundidad.

Microcystis tuvo presencia durante julio y septiembre en concentraciones que superaron las 100 mil cel/L desde los 0 hasta los 30 metros de profundidad.

Concerniente a las morbilidades presentadas, el total de ellas fue de 18,773, en predominancia las respiratorias 56.71%, seguidas de las gastrointestinales 19.18%, alérgicas 15.27% y por último las dermatológicas con un 8.84%. Todas ellas prevalecieron durante los meses de abril (10.93%), mayo (10.00%) y julio (9.52%).

En el año podemos observar que en abril, mayo y agosto fueron los meses en los que preponderaron las respiratorias (11.69%, 11.09% y 8.77% respectivamente); para abril, mayo y octubre las gastrointestinales (10.64%, 10.00% y 11.78% respectivamente) y para las alérgicas en abril (9.46%), julio (9.46%) y septiembre (10.40%).

A continuación se presentan datos en tablas que evidencian el grado de correlación entre las variables concentración cianobacterias y morbilidades consultadas, en los municipios de San Pedro la Laguna, Santiago Atitlán y San Lucas Tolimán durante los años 2011-2014.

Tabla 6.14 Correlación entre brote de cianobacterias y morbilidad en general en el Municipio de San Pedro la Laguna.

Año	Correlación rho	Valor-p	Interpretación
2011	0.21	0.51	Correlación baja, no significativa
2012	-0.17	0.60	Correlación nula
2013	0.37	0.23	Correlación media, no significativa
2014	-0.23	0.47	Correlación nula

Tabla 6.15 Correlación entre brote de cianobacterias y morbilidad en general en el Municipio de Santiago Atitlán.

Año	Correlación rho	Valor-p	Interpretación
2011	-0.18	0.58	Correlación nula
2012	-0.17	0.60	Correlación nula
2013	0.37	0.23	Correlación media, no significativa
2014	-0.23	0.47	Correlación nula

Tabla 6.16 Correlación entre brote de cianobacterias y morbilidad en general en el Municipio de San Lucas Tolimán.

Año	Correlación rho	Valor-p	Interpretación
2011	0.26	0.42	Correlación baja, no significativa
2012	0.16	0.62	Correlación baja, no significativa
2013	-0.14	0.65	Correlación nula
2014	-0.02	0.95	Correlación nula

Interpretación: De los datos anteriores podemos aseverar que las correlaciones fueron nulas por lo menos en 2 años para cada municipio; se presentaron correlaciones bajas cuya interpretación estadística es no significativa solo para San Pedro la Laguna y San Lucas Tolimán, durante los años 2011 y 2012; Santiago Atitlán y San Pedro la Laguna evidenciaron para un mismo año (2013) una correlación media con un rho>0.30, que es estadísticamente no significativa. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula, existe correlación entre las variables florecimiento de cianobacterias y morbilidades consultadas en los años y municipios ya descritos, pero esta no es estadísticamente significativa.

7. DISCUSIÓN

En la presente investigación se evaluó el total de consultas brindadas en los puestos de salud de los municipios de San Pedro la Laguna, Santiago Atitlán y San Lucas Tolimán. Se clasificó las patologías registradas en 4 categorías específicas: enfermedades respiratorias (infecciones y afecciones de vías aéreas altas y bajas), gastrointestinales (infecciones gastrointestinales, diarreas, etc.), alérgicas (reacciones de hipersensibilidad, rinitis, etc.) y dermatológicas (dermatitis, rash, otras erupciones en la piel). Estas fueron analizadas según su distribución en el año y correlacionadas con los meses en los que se reportaron florecimientos cianobacterianos (Blooms) durante los años 2011-2014.

Concentración de cianobacterias

Referente a las concentraciones cianobacterianas emanadas, se pudo cotejar que los florecimientos estuvieron delimitados casi exclusivamente al período de inicio de las lluvias en la región (invierno) para los 3 municipios, y que estas se mantuvieron presentes durante los 5-7 meses que dura dicho período pluvial en el departamento de Sololá (mayo-octubre). Con esto se evidencia que los florecimientos aumentan mientras aumenta la precipitación en la región (lluvias), lo que concuerda con estudios realizados en 2013 en El Salvador (Lago Ilopango), en donde se confirmó que la escasa precipitación evita el arrastre (por escorrentía) de nutrientes al lacustre, y que los florecimientos son fenómenos que no se presentan en época seca, (probablemente por escaso nitrógeno detectado), pero que los cambios en el aporte de nutrientes a los mantos acuáticos, producen florecimientos cianobacterianos potencialmente tóxicos. [11]

Se obtuvo datos que evidencian que las bahías estudiadas presentaron una distribución cuasi-parcial de concentraciones cianobacterianas durante los 4 años, de tal manera que para San Pedro la Laguna se cuantificó 115 concentraciones, en Santiago Atitlán 169 y San Lucas Tolimán 107 concentraciones, para un total de 391 mediciones durante el período de estudio (Tabla 11.2 de Anexos); de éstas, 38 fueron reportadas como florecimientos para San Pedro la Laguna, 53 para Santiago Atitlán y 26 en San Lucas Tolimán para un total de 117 florecimientos a sus respectivas profundidades (Tabla 11.3 de Anexos). Así, con estas estimaciones podemos aseverar que a pesar de que no se midió periódicamente dichas cianobacterias, estas superan el mínimo de medición durante un año, y que dichos florecimientos en consonancia con estudios realizados en el año 2015 en el Lago Amatitlán del departamento de Guatemala, tienen una

dominancia mayor en la zona fótica del lacustre la cual disminuye conforme aumenta la profundidad. [12]

Se encontró que los blooms se reportaron más durante los meses de mayo-septiembre a expensas de que únicamente en el año 2014 sus repuntes acaecieron en el último trimestre de cada año para cada bahía estudiada y que solamente en San Pedro la Laguna y Santiago Atitlán se reportó en el año 2011 algún florecimiento significativo durante el mes de noviembre.

Se descubrió que entre los 3 municipios el que más concentraciones cianobacterianas registró así como el mayor número de florecimientos fue Santiago Atitlán con un 43.22% (169 concentraciones) y el menor se presentó en San Lucas Tolimán con un 27.36% del total de concentraciones (107) y un 22.22% (26 Blooms). (Tabla 11.2 y Tabla 11.3 de Anexos)

De las concentraciones cuantificadas *Limnoraphis Robusta* se posicionó como la de mayor prevalencia*,* seguida de *Aphanizomenon* y por último *Microcystis* en los 3 municipios, tal como se observa en las tablas 11.4, 11.5, 11.6 y 11.7 de anexos. De los 5 géneros cianobacterianos los únicos que no se presentaron en el lacustre, ni siquiera en concentraciones mínimas, fueron: *Anabaena* y *Dolichospermum*; y el género cianobacteriano que predominó en la región fue *Limnoraphis Robusta.* Esto pone de manifiesto que en consonancia con el estudio realizado en el año 2014 en la bahía del Jaibalito, Centro Weis del lago Atitlán y bahía de Santiago Atitlán que el género de supremacía en la región es *Limnoraphis Robusta* (inicialmente identificada como *Lyngbya sp*). Sin embargo cabe mencionar que no se puede generalizar que en la totalidad de este manto acuático prevalezca éste espécimen, hasta muestrear el total de puntos de brote así como durante los florecimientos. [14]

También se logró evidenciar que los hallazgos cuantificados de cianobacteria *Limnoraphis* difieren de su homólogo en el departamento de Guatemala y municipio de Amatitlán: Lago de Amatitlán, donde se reportó para el año 2015 la predominancia de los géneros *Microcystis* y *Dolichospermum.* [12]

Así mismo vemos que el año 2014 fue el año en el que más registros hubo de florecimientos (ver Tabla 11.3 de Anexos), principalmente a finales del primer semestre e inicios del segundo, con 47.86% (56 florecimientos); inclusive en sus mediciones a 30 mts de profundidad (81.25% = 26 mediciones, de las cuales sus florecimientos acaecieron el 90% en este mismo año) (ver Tabla 11.17 de Anexos), esto podría estar relacionado con las intensas precipitaciones que fueron reportadas en la región durante el mes de junio de dicho año por el

aparecimiento de la Depresión Tropical 2-E que más tarde se convertiría en La Tormenta Boris, lo que probablemente incrementó el arrastre de escombros y lavado de suelos, aumentando el aporte de nutrientes al lacustre (fosforo y nitrógeno) por los siguientes 6 meses del año, dato que confirma lo concluido en el estudio del Lago Ilopango de El Salvador respecto al aporte de nutrientes y su papel en el aparecimiento de florecimientos cianobacterianos. [11]

Igualmente se encontró que del total de los registros de florecimientos ponderados durante los 4 años, el género que prevaleció fue *Limnoraphis* para las 3 bahías (similar al conteo integral de concentraciones medidas), seguido del género *Aphanizomenon* tan solo en Santiago Atitlán, *Microcystis* para San Pedro la Laguna y nuevamente para Santiago Atitlán. En San Lucas Tolimán únicamente fueron registrados 26 reportes de florecimientos exclusivos del género *Limnoraphis.* (Ver tablas 11.8, 11.9, 11.10 de Anexos)

De las mediciones a 30 metros de profundidad en los 3 municipios, se evidenció que únicamente se realizaron durante los años 2011 y 2014 (ver Tabla 11.16 de Anexos); así en Santiago Atitlán fueron cuantificados florecimientos de *Limnoraphis* durante el segundo semestre del año 2014 en conjunto con las otras profundidades que también reportaron florecimientos. De San Lucas Tolimán se detectó florecimientos durante el segundo semestre del 2014 y un único florecimiento en septiembre de 2011, a esta profundidad (30 metros). Por último en San Pedro la Laguna al igual que los anteriores municipios se realizaron mediciones a 30 mts únicamente durante los años 2011 y 2014 y de estos solamente durante los últimos 3 meses de medición en el 2014 se reportó florecimientos del género *Limnoraphis* (septiembre, octubre y noviembre). (Ver tabla 5.2, 5.5, 5.6, 5.9, 5,10 y 5.13 de Anexos)

Se descubrió que para los años estudiados nunca dejó de haber florecimientos cianobacterianos, estos siempre se mantuvieron presentes a sus respectivas concentraciones y profundidades, y su predominio fue del género *Limnoraphis*. Así mismo los años en los que se cuantificó la menor cantidad de los mismos acaecieron durante el año 2013 para San Pedro la Laguna y San Lucas Tolimán; no así para Santiago Atitlán que obtuvo su menor cantidad de florecimientos en los años 2011 y 2012. (Ver tabla 11.3 de Anexos)

Por último y referente a la variable concentración de cianobacterias, se obtuvo que de los meses en los que no hubo mediciones, San Lucas Tolimán fue el municipio que mayor número de meses sin medición presentó durante los 4 años (16 meses sin medición), seguido de San

Pedro la Laguna con 13 meses sin mediciones, y por último Santiago Atitlán con 9 meses ausentes de cuantificación. (Ver Tabla 11.11 de Anexos)

Morbilidades estudiadas

Concerniente a la demanda dada en la consulta (morbilidades) por los respectivos puestos de salud durante los 4 años de estudio y habiendo clasificado las patologías en 4 categorías (respiratorias, gastrointestinales, alérgicas y dermatológicas), obtuvimos que durante los 4 años predominaron para los 3 municipios las morbilidades de tipo respiratorio (61.10% = 84,346 casos), seguido de las gastrointestinales (17.72% = 24,465 casos); y que la menor cantidad en consulta se presentó en la categoría de enfermedades de tipo dermatológico (8.42% = 11,628 casos). (Ver Tabla 11.12 - 11.15 de Anexos)

Del total en el municipio de San Pedro la Laguna para los años en estudio, el 54.42% le corresponden a las de tipo respiratorio (8,430 casos) y tan solo por una diferencia de 90 casos entre los dermatológicos y alérgicos se documentó que estos últimos fueron los que menos consultaron durante los 4 años (11.70% y 11.12% respectivamente). Encontramos que para los años que mayor consulta se presentó fue para el año 2011 y 2014 (27,7% y 27.5% respectivamente). Con estos datos concluimos que para este municipio la consulta rondó entre el 20-25% del total para cada año, lo que nos demuestra que se mantuvo casi equitativa la distribución de dichas morbilidades durante cada año. (Ver Tabla 11.13 de Anexos)

De las morbilidades para el municipio de Santiago Atitlán se evidenció un 69.87% para la enfermedades respiratorias (43,316 casos) como las de mayor consulta, y un 6.52% para las dermatológicas (4,043 casos). Por último se comprobó que los años 2012 y 2013 fueron los años en los que se obtuvieron mayor registro de consulta (26.51% y 31.76%). (Ver Tabla 11.14 de Anexos)

En San Lucas Tolimán se obtuvo que los años 2013 y 2014 fueron los años de prevalencia en la consulta con un 28.71% y un 31.0% respectivamente. Y que de esas consultas las de tipo respiratorio ocuparon el primer lugar en predominancia (53.83% = 32,600 casos) y las de tipo dermatológico el último lugar con un 9.53% (5,772 casos). (Ver Tabla 11.15 de Anexos)

Todo lo anterior supone una consonancia universal en los 3 municipios: pacientes que consultan más por enfermedades, signos y síntomas de vías respiratorias altas y bajas (fiebre sin

escalofríos, síntomas respiratorios, tos irritativa, cefalea, mialgias, malestar generalizado, rinitis, traqueobronquitis o faringitis, roncus o estertores, otalgia, odinofagia, rinorrea, conjuntivitis, eritema faríngeo, otitis media y/o adenopatías cervicales) que inclusive pueden ser producto de procesos de hipersensibilidad o de tipo alérgico, esto probablemente sumado a las características demográficas y ambientales propias de la región.

Afecciones más frecuentes con brotes de cianobacterias

El aumento de morbilidades no necesariamente sucede al haber brotes de cianobacterias; durante los periodos en los que hubo mayor cantidad de los mismos hubo predominio de afecciones alérgicas para Santiago Atitlán (2013, 2014) y San Lucas Tolimán (2012, 2014). De las 4 ocasiones en las que se manifestaron afecciones respiratorias, 3 acaecieron durante el mes de agosto: dos en los años 2012 y 2013 en San Pedro la Laguna, y otra en agosto de 2011, en San Lucas Tolimán. Las afecciones dermatológicas se presentaron usualmente al inicio del invierno (mayo) en Santiago Atitlán y San Lucas Tolimán (2011 y 2013, respectivamente), y en San Pedro la Laguna, durante el mes de septiembre del 2014. Finalmente se evidenció que en el 2011, durante los meses en que hubo mayor cantidad de brotes de cianobacterias, únicamente en San Pedro la Laguna se presentó un mayor número de registros en la consulta, y fue por afecciones de tipo dermatológico. Se observó que el número de consultas por diferentes morbilidades incrementó incluso en ausencia de brotes de cianobacterias en los cuatro años estudiados.

Correlación entre florecimientos de cianobacterias y morbilidades

Por marco de referencia se sabe que las morbilidades expuestas en esta investigación son afecciones que pueden ser ocasionadas directa o indirectamente por el contacto de aguas contaminadas en personas que utilizan este lacustre para sus actividades de la vida diaria. La contaminación puede deberse a desechos sólidos o líquidos o a las aguas eutrofizadas con floraciones cianobacterianas (esto por sus cianotoxinas o por sus metabolitos tóxicos).

Las morbilidades estudiadas son de origen multicausal y no exclusivas del contacto con cianobacterias. Hasta la fecha no se había realizado estudios que evidencien el grado de riesgo para la salud de la población que se abastece del vital líquido en los puntos de estudio del lacustre; se procedió a la correlación de estas 2 variables, cada cual con sus respectivas clasificaciones: géneros cianobacterianos, profundidades de medición, bahías involucradas, años estudiados y tipo de afecciones más frecuentemente consultadas.

Después del análisis estadístico, en la que la mayoría de datos de mediciones de concentración de cianobacterias presentó una distribución no normal, se llegó a la conclusión de que la presencia de brotes de cianobacterias y la frecuencia de las morbilidades estudiadas, son variables independientes. Se realizó un análisis por municipio y año y se llegó a la misma conclusión, aunque se encontró correlaciones bajas o medias en algunos años, estas no fueron estadísticamente significativas.

Por último, cabe mencionar que, al calcular el coeficiente de correlación para datos no paramétricos, se obtuvo algunas correlaciones nulas, esto debido a la ausencia de medición de brotes de cianobacterias a distintas profundidades o por las mediciones en los que la concentración de cianobacterias fue de cero. Esto pudo afectar los resultados hacia una correlación negativa entre las variables.

Con esta investigación se establece el primer antecedente que explora la asociación entre los florecimientos de cianobacterias en un manto de agua dulce en Guatemala y su correlación con las morbilidades registradas en 3 servicios de salud de la cuenca del lago Atitlán. Esto aporta un recurso científico a las áreas de ambiente y salud, en la caracterización y comportamiento de estas algas verde-azuladas, así como del comportamiento de las distintas morbilidades que se pueden correlacionar con las mismas. Los hallazgos de este estudio, pueden ser usados para priorizar protocolos de acción en el rescate del manto acuático y en la prevención de afecciones a la salud, debido a la utilización de las aguas de dicho manto y de su biodiversidad, para consumo humano o recreación. La mayor limitación de este estudio fue la ausencia del registro del cálculo de la variable cel/Litro, y que las mediciones no han sido periódicas ni estandarizadas (nivel de profundidad), lo que causa un vacío de datos, que afecta al momento del análisis; aunque se pudo haber hecho cálculos estadísticos para suplir los datos faltantes, esto habría enmascarado los florecimientos de cianobacterias o provocado correlaciones que no responden a la realidad. Por todo lo anterior se sugiere ahondar en el tema pues se sabe que más de 300 mil personas tienen alguna relación directa o indirecta con las aguas del lago de Atitlán. [3]

8. CONCLUSIONES

7.1. Durante el 2011 y 2014 San Pedro la Laguna registran los años de mayor demanda en la consulta de morbilidades, Santiago Atitlán presenta mayor demanda para el 2012 y 2013 y San Lucas Tolimán durante los años 2013 y 2014.

7.2. Las afecciones más frecuentemente reportadas son las de tipo respiratorio y las que menos se reportan en Santiago Atitlán y San Lucas Tolimán, son las dermatológicas, y en San Pedro la Laguna las de tipo alérgico.

7.3. En los lugares y años estudiados se encontró correlación entre el florecimiento de cianobacterias y las morbilidades consultadas, pero esta correlación no es significativa por lo que se requiere de más estudios para confirmar este hallazgo.

7.4. Los florecimientos de cianobacterias se presentan mayormente durante el invierno (mayo-octubre), cuando la precipitación aumenta en la región, estos tienen una dominancia mayor en la zona fótica del lacustre, la cual disminuye conforme aumenta la profundidad de medición. De dichos afloramientos no se pudo evidenciar la duración de cada uno de ellos ya que las cuantificaciones acaecieron solo una vez durante cada mes de cada año: el género que predomina fue *Limnoraphis Robusta* y Santiago Atitlán es el municipio que presenta el mayor número de ellas: el género de cianobacteria *Microcystis* es el de menor concentración en los puntos de medición y los géneros *Anabaena* y *Dolichospermum* no se encuentran presentes en el manto acuático al momento del estudio.

9. RECOMENDACIONES

9.1 Al Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social de Guatemala:

9.1.1. Tomar en cuenta los resultados derivados de este estudio para la implementación de estrategias en pro de la salud medioambiental de los pobladores que tienen relación directa o indirecta con las aguas del lacustre.

9.1.2. Promover integralmente, con apoyo del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) educación en saneamiento ambiental dirigida a la población que habita en los municipios de la cuenca del lago.

9.1.3. Crear en conjunto con los servicios de salud privados, semi- privados (ONG) y el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala estrategias para la creación de un sistema estandarizado de indexación en la caracterización clínica y epidemiológica de cada paciente que consulta por enfermedades varias y su relación en el contacto directo o indirecto con las aguas del Lago de Atitlán en períodos de florecimiento y no florecimiento cianobacteriano.

9.2 Al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala:

9.2.1. Llevar a cabo políticas de saneamiento ambiental en pro del rescate del Lago de Atitlán y de su cuenca.

9.2.2. Incentivar a las instituciones involucradas en el tópico a planificar un sistema periódico y estandarizado de muestreo para la cuantificación de las concentraciones de cianobacterias.

9.2.3. Promover entre la población educación medioambiental para la no contaminación de sus recursos naturales y evitar de esta manera la eutrofización de las aguas del lacustre.

9.2.4. Exigir el cumplimiento de iniciativa de ley para la implementación de plantas de tratamiento de aguas negras para cada comunidad que habita la cuenca del Lago de Atitlán.

9.2.5. Contratar a expertos limnólogos para la vigilancia y el estudio permanente, tanto de los brotes de cianobacterias, como para el estudio de la biología del lago, que puede afectar a todas las poblaciones que se asientan en sus riberas.

9.3 A las Municipalidades de San Pedro la Laguna, Santiago Atitlán y San Lucas Tolimán:

9.3.1. Implementar estrategias municipales efectivas para el manejo y mejora en la disposición de excretas de cada municipio que vierte sus aguas residuales a los ríos, riachuelos, nacimientos e incluso de quienes esparcen sus residuos al mismo manto acuático de la región.

9.3.2. Exigir a las entidades competentes reportes sistemáticos y periódicos del monitoreo de las aguas del lago Atitlán para la toma de decisiones y la oportuna emisión de alertas por florecimientos cianobacterianos.

9.4 A Coordinación de Trabajos de Graduación Facultad de Medicina USAC:

9.4.1. Promover el estudio entre sus graduandos de temas de saneamiento ambiental y salud.

9.4.2. Requerir el asesoramiento de personal calificado en estudios de tipo ecológico y sus implicaciones matemáticas y estadística para la mejora de resultados en los temas de investigación de esta índole.

10. APORTES

Este es el primer estudio en su tipo que explora la asociación entre brotes cianobacterianos con morbilidades más frecuentemente consultadas en una población del altiplano de la República de Guatemala.

Se generan las primeras estadísticas de referencia para estudios ulteriores, que permitan la ampliación de la información respecto a estos microorganismos no solo de su naturaleza toxicológica (cianotoxinas) sino para cuantificar sus metabolitos potencialmente tóxicos en relación a su efecto en la salud de quienes se sirven de aguas eutrofizadas, ya sea para consumo personal, agricultura, industria y/o recreación.

Se coordinarán y programarán presentaciones públicas y privadas con las instituciones, comunidades y municipalidades involucradas en la investigación para presentación de resultados y de esta manera informar a la población en general lo importante que conlleva que todos y cada uno de los que habitan, tanto en la ribera del lago como en su cuenca, puedan contribuir a la no contaminación de ríos, riachuelos, nacimientos, suelos, entre otros, que confluyen en el lago y que también han sido contaminados por la mala disposición de excretas.

Se solicitará la exposición de los resultados en revistas varias dedicadas a temas de salud y ambiente, como por ejemplo: Revista anual del departamento de Investigación de Ciencia Animal y Ecosalud de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Revista de “Monitorización del Lago Atitlán y su Cuenca” de la Universidad del Valle de Guatemala, Centro de Estudios Atitlán campus Altiplano. Revista anual de “Monitoreo del Lago Atitlán de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno (AMSCLAE)”.

Finalmente este estudio presenta una evidencia más para las autoridades gubernamentales que demuestra lo trascendental que es implementar estrategias y políticas para la toma de decisiones en pro de la salud de quienes se sirven de este cuerpo de agua dulce así como el garantizar tácticas para el rescate y mejoramiento del mismo.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Guyton AC, Hall JE. Tratado de fisiología médica. 12 ed. Barcelona, España: Elsevier; 2011.

2. Guatemala, Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. Situación epidemiológica de las enfermedades transmitidas por alimentos y agua: Semana epidemiológica 1-26. Informe Técnico del Departamento de Epidemiología. Guatemala: MSPAS; 2016.

3. Grupo científico de la Universidad del Valle de Guatemala. Unidos por el lago Atitlán. El estado ecológico actual del lago Atitlán y el impacto de la entrada de aguas residuales: recomendación para exportación de las aguas residuales de la cuenca para restaurar el lago, Sololá, Guatemala: Grupo Científico de la Universidad del Valle de Guatemala y Asociación de Unidos por el Lago Atitlán: 2013.

4. Kieffer L, De la Sierra P, Devercelli M, Luna J, Claret M, Leiz E. Degradación de microcistina–LR mediante ultrasonido. I: Influencia del pH y la concentración inicial. Revista FABICIB [en línea]. 2014 [citado 3 Feb 2017]; 18: 83-94. Disponible en: shorturl.at/ajlDL

5. Lévesque B, Gervais MC, Chevalier P, Gauvin D, Anassour-Laouan-Sidi E, Gingras S, et al. Prospective study of acute health effects in relation to exposure to cyanobacteria. Sci Total Environ [en línea]. 2014 Jan 1 [citado 24 Ene 2017]; 466-467: 397-403. Disponible en: shorturl.at/hnvIN

6. Elia N L. Identification and characterization of phytoplankton in Barnegat Bay, New Jersey. [tesis Master Ciencias en Mocrobiología en linea]. New Jersey: Seton Hall University, Departamento de Ciencias Biológicas; 2014. [citado 24 Ene 2017]. Disponible en: shorturl.at/cxIP8

7. Patel R. Flow cytometric analysis for cyanobacteria in 36 New Jersey freshwater bodies [tesis Master Ciencias en Microbiologia en línea]. New Jersey: Seton Hall University. Departamento de Ciencias Biológicas; 2016. [citado 24 Ene 2017]. Disponible en. shorturl.at/pqzY2

8. Abdullah AL-Khelaifi F. Phylogenetic diversity of cyanobacteria from Qatar coastal waters. [tesis Master en Ciencias Ambientales en línea]. Qatar: Qatar University, Departamento de Biología y Ciencias Ambientales; 2014. [citado 3 Feb 2017]. Disponible en: shorturl.at/hmxDP

9. Gugger M, Lenoir S, Berger C, Ledreux A, Druart JC, Humbert JF, et al. First report in a river in France of the benthic cyanobacterium *Phormidium favosum* producing anatoxin-a

associated with dog neurotoxicosis. Toxicon [en línea]. 2005 Jun 1 [citado 3 Feb 2017]; 45 (7): 919-928. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.toxicon.2005.02.031

10. Lago L, Barca S, Veira-Lanero R, Cobo F. Floraciones de cianobacterias y valores de microcistina-LR sestónica y disuelta en embalses de la cuenca hidrográfica del Miño-Sil. MOL Sociedad de Ciencias de Galicia [en línea]. 2016 Oct [citado 24 Ene 2017]; (16): 113-125. Disponible en: shorturl.at/psFN1

11. Olivares Pavez A P. Abundancia y distribución de cianobacterias (*Microcystis sp, Anabaena sp, Oscillatoria sp*) en el lago Ilopango, el Salvador [tesis Licenciatura en Biología en línea]. San Salvador: Universidad El Salvador, Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, Escuela de Biología; 2013. [citado 24 Ene 2017]. Disponible en: http://ri.ues.edu.sv/10001/.

12. López Estrada M E. Estructura, composición y dominancia de las cianobacterias en el lago de Amatitlán, Guatemala y su relación con la pérdida de diversidad de fitoplancton [tesis Químico Biólogo]. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia; 2015.

13. Romero Oliva C S, Contardo Jara V, Block T, Pflugmacher S. Accumulation of *Microcystin* congeners in different aquatic plants and crops: A case study from lake Amatitlán, Guatemala. Ecotoxicology and Environmental Safety [en línea]. 2014 Apr [citado 27 Ene 2017]; 102: 121-128. Disponible en: shorturl.at/lqOX7.

14. Ruiz Cano A, E, Axpuaca Aspuac E A. Determinación de Metabolitos secundarios y cianotoxinas producidos por la cianobacteria *Lyngbya sp*. y su relación con la calidad del agua del lago de Atitlán [tesis Química y Farmacia]. Guatemala: Universidad de San Carlos De Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia; 2014.

15. Romero Santizo M A. Valoración económica del lago de Atitlán, Sololá, Guatemala [tesis Master en Ciencias]. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía; 2009.

16. Chorus I, Bartram J. Toxic cyanobacteria in water: A guide to their public health consequences, monitoring and management [en línea]. London, UK: E&FN; 1999 [citado 22 Feb 2017]. Disponible en: shorturl.at/rGYZ8.

17. Bonilla S, Haakonsson S, Somma A, Gravier A, Britos A, Vidal L, et al. Cyanobacteria and cianotoxins in freshwaters of Uruguay. INNOTEC [en línea]. 2015 [citado 05 Mar 2017]; 10: (9-22). Disponible en: shorturl.at/egN23.

18. Ballot A, Krienitz L, Kotut K, Wiegand C, Pflugmacher S. Cyanobacteria and cyanobacterial toxins in the alkaline crater lakes Sonachi and Simbi, Kenya. Harmful Algae [en línea]. 2005 Jan [citado 3 Feb 2017]; 4 (1): 139-150. Disponible en: shorturl.at/acfv[Q

19. Vassal´lo Saco J. Comunidades de cianobacterias bentónicas, producción y liberación de microcistinas en el río Muga (NE Peninsula Iberica). [tesis Doctoral en Ciencias Ambientales en línea]. Península Ibérica: Universidad de Girona. Programa de Ciencias Ambientales, Biología Ambiental; 2009. [citado 3 Feb 2017]. Disponible en: https://www.tesisenred.net/handle/10803/7662

20. Nováková K. Biochemical mechanisms of cyanobacterial toxicity. [tesis Química Ambiental en línea]. República Checa: Universidad de Masaryk Brno, República Checa, Programa de Química; 2012. [citado 3 Feb 2017]. Disponible en: http://is.muni.cz/th/64015/prif_d/Novakova_FINAL.pdf.

21. Gonzales M R, Gómez Gómez L. Identificación de cianobacterias potencialmente productoras de cianotoxinas en la curva de Salguero del rio Cesar. Revista Luna Azul [en línea]. 2010 jul-dic [citado 24 Ene 2017]; 31: 17-25. Disponible en: shorturl.at/nEQZ8

22. Giannuzzi L, Aguilera A, Amé M, Andrinolo D, Bauzá L, Benítez R, et al. Cianobacterias como determinantes ambientales de la salud [en línea]. Buenos Aires: Ministerio de la Salud de la Nación; 2011. [citado 05 Mar 2017]. Disponible en: shorturl.at/iwBY8

23. Simoens Morandi M. Bioacumulación de *Microcistina-LR* en Tarariras *(Hoplias sp.)* de un embalse eutrófico (Rincón del Bonete, Uruguay) y su riesgo potencial para la salud humana. [tesis Master en Ciencias Ambientales en línea]. Monte Video, Uruguay: Universidad de la República de Uruguay, Facultad de Ciencias; 2015. [citado 05 Mar 2017]. Disponible en: shorturl.at/beOX7.

24. Asociación para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago Atitlán y su Entorno. Resumen ejecutivo enero 2016. Informe de un grupo científico y administrativo de la Asociación para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago Atitlán y su Entorno. Guatemala: Asociación para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago Atitlán y su Entorno; 2016.

25. Domingo P R. Atitlan science [Blog en línea]. Guatemala: Pablo R. Domingo. Ago 2010 [citado 24 Feb 2017]. Disponible en: shorturl.at/tvCO5

26. Oliva Hernandez B E, Pérez Sabino J F, Del Cid Mendizábal M M, Gaitán Fernández I, Valladares Jovel B S, Martinez Castellanos J F, et al. Estudio de contaminantes ecotóxicos en agua y organismos acuáticos del lago de Atitlán. Informe Final. Guatemala: DIGI-USAC; 2010.

27. Torrico Linares E, Santín Vilariño C, Andrés Villas M, Menéndez Álvarez-Dardet S, López López M J. El modelo ecológico de Bronfenbrenner como marco teórico de la psicooncología. Anales de Psicología [en línea]. 2002 Jun [citado 18 Ene 2017]; 18 (1): 45-59. Disponible en: shorturl.at/dinpM

28. Caballero González E, Gelis M, Sosa Cruz M E, Figueroa E M, Vega Hernández M, Columbié Pérez L de A. Los determinantes sociales de la salud y sus diferentes modelos explicativos. INFODIR [en línea]. 2012 [citado 18 Ene 2017]; 8 (15): [aprox. 10 pant.]. Disponible en: shorturl.at/cesTU

29. Guatemala. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Manual de educación ambiental sobre el recurso hídrico en Guatemala [en línea]. Guatemala: MARN; [200?]. [citado 19 Feb 2017]. Disponible en: http://www.marn.gob.gt/Multimedios/7419.pdf

30. Universidad EIA. Recursos biológicos [en línea]. Colombia: eia.edu.co; [citado 20 Feb 2017] Cianobacterias [aprox. 2 pant.]. Disponible en: http://recursosbiologicos.eia.edu.co/ecologia/estudiantes/cianobacterias.html

31. Bonilla S. Cianobacterias planctónicas del Uruguay: Manual para la identificación y medidas de gestión [en línea]. 16 ed. Uruguay: PHI UNESCO; 2009 [citado 21 Ene 2017] Disponible en: shorturl.at/bcisJ

32. Newcombe G. International guidance manual for the management of toxic cyanobacteria [en línea]. Australia: WQRA; 2009. Disponible en: shorturl.at/huASX

33. Chorus I, Falconer I R, Salas H J, Bartram J. Riesgos a la salud causados por cianobacterias y algas de agua dulce en aguas recreacionales [en línea]. Berlin, Alemania: ResearchGate; 1998 [citado 02 Mar 2017]. Disponible en: shorturl.at/eySY5

34. Loza Calvo V. Biodiversidad de cianobacterias en ríos de la comunidad de Madrid: Análisis polifásico y aplicación en biomonitorización. [tesis Doctoral en Ciencias en línea]. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología; 2011. [citado 26 Ene 2017]. Disponible en: shorturl.at/rzP68

35. Carey C, Ibelings B, Hoffmann E, Hamilton D, Brookes J. Eco-physiological adaptations that favour freshwater cyanobacteria in a changing climate. Water Research [en línea]. 2012 Apr 1 [citado 3 Feb 2017]; 46 (5): 1394-1407. Disponible en: shorturl.at/ikJL3

36. Ajcalón López W G, Francis Andrus R. La Contaminación por cianobacterias del lago de Atitlán: Estudio cualitativo realizado en comunidades ubicadas en la ribera del lago Atitlán en el departamento de Sololá. [tesis Medico y Cirujano]. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Médicas; 2011.

37. De León L. Floraciones de cianobacterias en aguas continentales del Uruguay: Causas y consecuencias [en línea]. Uruguay: imasd.fcien.edu.uy; 2002 [citado 20 Feb 2017]. Disponible en: shorturl.at/qCLX2

38. Metcalf J S, Codd G A. editores. Cyanobacterial toxins in water [en línea]. U.K: Foundation for water research; 2014. [citado 17 Feb 2017]. Disponible en: http://www.fwr.org/cyanotox.pdf

39. Echenique R O, Giannuzzi L, Ferrari L A, González D M. Estudio sobre la calidad de agua de red en bahía Blanca Argentina En: 13° Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente [en línea]. Argentina: AIDIS; 2003 [citado 17 Feb 2017]. Disponible en: http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/argentina13/cong30.pdf

40. Romero Valdez J G, Pereira Q, Zini R A, Canteros G E. Reacciones de hipersensibilidad. Revista de Posgrado de la VI Cátedra de Medicina [en línea]. 2007 [citado 28 Abr 2017]; 167: 11-16. Disponible en: http://med.unne.edu.ar/revista/revista167/3_167.pdf

41. Irigaray R, Dorca J. Neumonías atípicas. Rev Barca Neumolog [en línea]. 1996 [citado 28 Abr 2017]; 32 (4): 187-195. Disponible en: http://www.archbronconeumol.org/es/neumonias-atipicas/articulo/S0300289615307857/

42. Asociación Colombiana de Facultades de Medicina. Guías de práctica clínica basadas en la evidencia [en línea]. Colombia: ASCOFAME; [201?] [citado 28 Abr 2017]. Disponible en: http://www.medynet.com/usuarios/jraguilar/infeccion%20respiratoria.pdf

43. Garnacho Saucedo G, Salido Vallejo R, Moreno Giménez J C. Actualización de dermatitis atópica. Propuesta de algoritmo de actuación. Actas Dermo-Sifilográficas [en línea]. 2013 Ene-Feb [citado 09 Mayo 2017]; 104 (1): 4-16. Disponible en: http://www.actasdermo.org/es/actualizacion-dermatitis-atopica-propuesta-algoritmo/articulo/S0001731012001093/

44. Bedin C, Del Carmen Gimenez P R, Bedin G. Urticaria causas y tratamiento. Revista de Posgrado de la VIa Cátedra de Medicina [en línea]. 2007 Ago [citado 09 Mayo 2017]; 172: 8-11. Disponible en: https://nanopdf.com/download/http-medunneeduar-revista-revista172-3172pdf_pdf

45. Romero Pareyón L A. Dermatosis reaccionales. Rev Fac Med UNAM [en línea]. 2003 Jul-Ago [citado 13 Mayo 2017]; 46 (4): 148-151. Disponible en: http://www.revistas.unam.mx/index.php/rfm/article/view/12732/12052

46. Román Riechmann E, Barrio Torres J, López Rogríguez M J. Diarrea aguda. En: Asociación Española de Pediatría, Sociedad española de gastroenterología, hepatología y nutrición pediátrica. Protocolos diagnóstico-terapéuticos de gastroenterología, hepatología y nutrición pediátrica [en línea]. 2 ed. Madrid: Ergón; 2010 [citado 09 Mayo 2017]; p. 11-20. Disponible en: https://www.aeped.es/documentos/protocolos-gastroenterologia-hepatologia-y-nutricion-en-revision

47. Jiménez Aranda L, Ivos Tybos F, Leiva Fernández J, Buforn Galiana A, Toscano Gonzales R. Dolor abdominal en urgencias [en línea]. Málaga: Hospital Clínico Universitario Virgen Victoria; [201?] [citado 11 Mayo 2017]. Disponible en: http://www.medynet.com/usuarios/jraguilar/Manual%20de%20urgencias%20y%20Emergencias/dolorabd.pdf

48. Roca B. Infección intestinal aguda. Rev Jano [en línea]. 2007 [citado 11 Mayo 2017]; 662 (1): 39-42. Disponible en: http://www.jano.es/ficheros/sumarios/1/0/1662/39/00390042-LR.pdf

49. Consejo de Salubridad General. Guía de práctica clínica: diagnóstico y tratamiento de la insuficiencia hepática crónica [en línea]. México: Consejo de Salubridad General; 2008 [citado 13 Mayo 2017]. Disponible en: http://www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/gpc/CatalogoMaestro/038_GPC_InsufHepaticaCronica/IMSS_038_08_GRR.pdf

50. Colombia. Ministerio de Salud. Guía de atención del síndrome convulsivo [en línea]. Colombia: Dirección General de Promoción y Prevención; [201?] [citado 13 Mayo 2017]. Disponible en: https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/21Atencion%20del%20sindrome%20convulsivo.PDF

51. Camacho Salas A, De las Heras R S, Mateos Beato F. Ataxia aguda. En: Sociedad Española de Neurología Pediátrica [en línea]. 2 ed. Madrid: Asociación Española de Pediatría; 2008 [citado 13 Mayo 2017). Disponible en: https://www.aeped.es/sites/default/files/documentos/28-ataxia.pdf

52. Guatemala. Secretaria de Planificación y Programación de la Presidencia. Consejo de Desarrollo Departamental: Plan de desarrollo municipal con enfoque territorial 2008-2018. San Lucas Tolimán, Sololá: SEGEPLAN; 2008.

53. --------. Consejo de Desarrollo Departamental: Plan de desarrollo municipal con enfoque territorial 2009-2023. Santiago Atitlán, Sololá: SEGEPLAN; 2009.

54. --------. Consejo de Desarrollo Departamental: Plan de desarrollo municipal con enfoque territorial 2008-2018. San Pedro la Laguna, Sololá: SEGEPLAN; 2008.

55. Unidos por el Lago Atitlán. Estado del lago Atitlán: Informe 2014. Guatemala: La Institución; 2014.

56. AMSCLAE. Plan estratégico institucional 2012-2015 [en línea]. Guatemala: AMSCLAE; 2012 [citado 11 Feb 2017]. Disponible en: shorturl.at/alvAD

57. Guatemala. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. Acuerdo Ministerial No. 523-2013. Manual de especificaciones para la vigilancia y el control de la calidad del agua para consumo humano [en línea]. Guatemala: MSPAS; 2013. [citado 2 Mar 2017]. Disponible en: https://www.mspas.gob.gt/images/files/saludabmiente/regulacionesvigentes/AguaConsumoHumano/ManualCalidadAC69B4-1.PDF

58. Guatemala. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Acuerdo Gubernativo número 12-2011. Reglamento de descargas de aguas residuales en la cuenca del lago de Atitlán [en línea]. Guatemala: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales; 2011. [citado 03 Mar 2017]. http://www.infom.gob.gt/archivos/Docs-Pdf/Anexo-Legal/ANEXO_3_Acuerdo-gubernativo-12-2011-Reglamento-descargas-lago-Atitlan.pdf

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS MÉDICAS
BIBLIOTECA
14/10/19

12. ANEXOS

Tabla 11.1 Total de morbilidades por municipio y por año (2011-2014).

Año	MUNICIPIO			Total
	SAN PEDRO LA LAGUNA	SANTIAGO ATITLÁN	SAN LUCAS TOLIMÁN	
2011	4289	10786	9720	24795
2012	3123	16441	14676	34240
2013	3817	19693	17385	40895
2014	4262	15075	18773	38110
TOTAL	15491	61995	60554	138040

Fuente: Datos extraídos de SIGSA-WEB 2011-2014.

Tabla 11.2 Número de Concentraciones de cianobacterias por municipio y por año (totales ya incluyen florecimientos).

AÑO	MUNICIPIO			TOTAL
	SAN PEDRO LA LAGUNA	SANTIAGO ATITLÁN	SAN LUCAS TOLIMÁN	
2011	30	25	25	80
2012	35	41	38	114
2013	14	23	9	46
2014	36	80	35	151
TOTAL	115	169	107	391

Fuente: Datos proporcionados por CEA-UVG.

Tabla 11.3 Florecimiento de cianobacterias por municipio y por año.

AÑO	MUNICIPIO			TOTAL
	SAN PEDRO LA LAGUNA	SANTIAGO ATITLÁN	SAN LUCAS TOLIMÁN	
2011	12	7	6	25
2012	7	6	4	17
2013	4	13	2	19
2014	15	27	14	56
TOTAL	38	53	26	117

Fuente: Datos proporcionados por CEA-UVG.

Tabla 11.4 Total de cianobacterias por año y género en San Pedro la Laguna, año 2011-2014.

AÑO	SAN PEDRO LA LAGUNA					TOTAL
	Limnoraphis	Aphanizomenon	Anabaena	Microcystis	Dolichospermum	
2011	27	0	0	3	0	30
2012	11	16	0	8	0	35
2013	7	5	0	2	0	14
2014	20	13	0	3	0	36
TOTAL	65	34	0	16	0	115

Fuente: Datos proporcionados por CEA-UVG.

Tabla 11.5 Total de cianobacterias por año y género en Santiago Atitlán, año 2011-2014.

AÑO	SANTIAGO ATITLÁN					TOTAL
	Limnoraphis	*Aphanizomenon*	*Anabaena*	*Microcystis*	*Dolichospermum*	
2011	20	0	0	5	0	25
2012	13	22	0	6	0	41
2013	10	12	0	1	0	23
2014	35	31	0	14	0	80
TOTAL	78	65	0	26	0	169

Fuente: Datos proporcionados por CEA-UVG.

Tabla 11.6 Total de cianobacterias por año y género en San Lucas Tolimán, año 2011-2014.

AÑO	SAN LUCAS TOLIMAN					TOTAL
	Limnoraphis	*Aphanizomenon*	*Anabaena*	*Microcystis*	*Dolichospermum*	
2011	21	0	0	4	0	25
2012	12	18	0	8	0	38
2013	5	4	0	0	0	9
2014	19	9	0	7	0	35
TOTAL	57	31	0	19	0	107

Fuente: Datos proporcionados por CEA-UVG.

Tabla 11.7 Total de cianobacterias por género en San Pedro la Laguna, Santiago Atitlán San Lucas Tolimán, año 2011-2014.

CIANOBACTERIA	MUNICIPIO			TOTAL
	SAN PEDRO LA LAGUNA	SANTIAGO ATITLÁN	SAN LUCAS TOLIMÁN	
Limnoraphis	65	78	57	200
Aphanizomenon	34	65	31	130
Anabaena	0	0	0	0
Microcystis	16	26	19	61
Dolichospermum	0	0	0	0
TOTAL	115	169	107	391

Fuente: Datos proporcionados por CEA-UVG.

Tabla 11.8 Florecimiento de cianobacterias por año y por género, San Pedro la Laguna

AÑO	SAN PEDRO LA LAGUNA					TOTAL
	Limnoraphis	*Aphanizomenon*	*Anabaena*	*Microcystis*	*Dolichospermum*	
2011	12	0	0	0	0	12
2012	7	0	0	0	0	7
2013	4	0	0	0	0	4
2014	14	0	0	1	0	15
TOTAL	37	0	0	1	0	38

Fuente: Datos proporcionados por CEA-UVG.

Tabla 11.9 Florecimiento de cianobacterias por año y por género, Santiago Atitlán.

AÑO	SANTIAGO ATITLÁN					TOTAL
	Limnoraphis	*Aphanizomenon*	*Anabaena*	*Microcystis*	*Dolichospermum*	
2011	7	0	0	0	0	7
2012	3	3	0	0	0	6
2013	8	5	0	0	0	13
2014	23	0	0	4	0	27
TOTAL	41	8	0	4	0	53

Fuente: Datos proporcionados por CEA-UVG.

Tabla 11.10 Florecimiento de cianobacterias por año y por género, San Lucas Tolimán.

AÑO	SAN LUCAS TOLIMÁN					TOTAL
	Limnoraphis	*Aphanizomenon*	*Anabaena*	*Microcystis*	*Dolichospermum*	
2011	6	0	0	0	0	6
2012	4	0	0	0	0	4
2013	2	0	0	0	0	2
2014	14	0	0	0	0	14
TOTAL	26	0	0	0	0	26

Fuente: Datos proporcionados por CEA-UVG.

Tabla 11.11 Número de meses donde no se realizaron mediciones de cianobacterias por año y por municipio.

AÑO	MUNICIPIO			TOTAL
	SAN PEDRO LA LAGUNA	SANTIAGO ATITLÁN	SAN LUCAS TOLIMÁN	
2011	1	4	3	8
2012	2	1	1	4
2013	3	3	5	11
2014	7	1	7	15
TOTAL	13	9	16	38

Fuente: Datos proporcionados por CEA-UVG.

Tabla 11.12 Total de morbilidades por año, consultadas en San Pedro la Laguna, Santiago Atitlán y San Lucas Tolimán.

Año	MORBILIDADES				TOTAL
	RESPIRATORIAS	GASTROINTESTINALES	ALÉRGICAS	DERMATOLOGICAS	
2011	14978	4367	2955	2495	24795
2012	20907	6151	4292	2890	34240
2013	26103	6763	4891	3138	40895
2014	22358	7184	5463	3105	38110
TOTAL	84346	24465	17601	11628	138040

Fuente: Datos extraídos de SIGSA-WEB 2011-2014.

Tabla 11.13 Total de morbilidades registradas por año en San Pedro la Laguna.

Año	SAN PEDRO LA LAGUNA				TOTAL
	RESPIRATORIAS	GASTROINTESTINALES	ALÉRGICAS	DERMATOLÓGICAS	
2011	2512	899	388	490	4289
2012	1679	652	345	447	3123
2013	2080	868	433	436	3817
2014	2159	1106	557	440	4262
TOTAL	8430	3525	1723	1813	15491

Fuente: Datos extraídos de SIGSA-WEB 2011-2014.

Tabla 11.14 Total de morbilidades registradas por año en Santiago Atitlán.

Año	SANTIAGO ATITLAN				TOTAL
	RESPIRATORIAS	GASTROINTESTINALES	ALÉRGICAS	DERMATOLÓGICAS	
2011	7703	1363	768	952	10786
2012	11368	2397	1667	1009	16441
2013	14693	2271	1652	1077	19693
2014	9552	2478	2040	1005	15075
TOTAL	43316	8509	6127	4043	61995

Fuente: Datos extraídos de SIGSA-WEB 2011-2014.

Tabla 11.15 Total de morbilidades registradas por año en San Lucas Tolimán.

Año	SAN LUCAS TOLIMÁN				TOTAL
	RESPIRATORIAS	GASTROINTESTINALES	ALÉRGICAS	DERMATOLOGICAS	
2011	4763	2105	1799	1053	9720
2012	7860	3102	2280	1434	14676
2013	9330	3624	2806	1625	17385
2014	10647	3600	2866	1660	18773
TOTAL	32600	12431	9751	5772	60554

Fuente: Datos extraídos de SIGSA-WEB 2011-2014.

Tabla 11.16 Total de mediciones de cianobacterias a 30 metros de profundidad por año y municipio.

AÑO	MUNICIPIO			TOTAL
	SAN PEDRO LA LAGUNA	SANTIAGO ATITLÁN	SAN LUCAS TOLIMÁN	
2011	2	3	1	6
2012	0	0	0	0
2013	0	0	0	0
2014	8	11	7	26
TOTAL	10	14	8	32

Fuente: Datos proporcionados por CEA-UVG.

Tabla 11.17 Total de florecimientos de cianobacterias a 30 metros de profundidad por año y municipio.

AÑO	MUNICIPIO			TOTAL
	SAN PEDRO LA LAGUNA	SANTIAGO ATITLÁN	SAN LUCAS TOLIMÁN	
2011	0	0	1	1
2012	0	0	0	0
2013	0	0	0	0
2014	3	3	3	9
TOTAL	3	3	4	10

Fuente: Datos proporcionados por CEA-UVG.

Tabla 11.18 Total de meses por año y municipio donde no hubo mediciones de cianobacterias

AÑO	MUNICIPIO			TOTAL
	SAN PEDRO LA LAGUNA	SANTIAGO ATITLÁN	SAN LUCAS TOLIMÁN	
2011	1	4	3	8
2012	2	1	1	4
2013	3	3	5	11
2014	7	1	7	15
TOTAL	13	9	16	38

Fuente: Datos proporcionados por CEA-UVG.

Florecimiento de cianobacteria, noviembre 2009

Fuente: Sustainable Solutions; Noviembre 2009

Florecimiento de cianobacteria, mayo 2011

Fuente: Noti5; Mayo 2011

Florecimiento de cianobacteria, agosto 2015

Fuente: Guatevisión; Agosto 2015

Florecimiento de cianobacteria, agosto 2015

Fuente: Prensa Libre, Angel Julajuj; Agosto 2015

En la siguiente imagen se puede observar cómo por oleaje son arrastradas las cianobacterias en masa hasta las orillas de la playa.

Florecimiento de cianobacteria, agosto 2015

Fuente: Prensa Libre, Angel Julajuj; Agosto 2015

Florecimiento de cianobacteria, agosto 2015

Fuente: Environment News Service. Sherm Davis; Agosto 2015

Florecimiento de cianobacteria, agosto 2015

Fuente: Environment News Service. Sherm Davis; Agosto 2015

En las siguientes imágenes se observar cómo personas de las distintas comunidades tienen contacto directo con el lago contaminado con el fin de limpiar sus playas manualmente:

Fuente: www.festivalatitlan.com; Agosto 2015