

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE CIENCIAS MÉDICAS**

## **“LA CONTAMINACIÓN POR CIANOBACTERIAS DEL LAGO DE ATITLÁN”**

Estudio cualitativo realizado en comunidades ubicadas  
en la ribera del Lago de Atitlán en el Departamento de Sololá

junio 2011

**William Geovany Ajcalón López  
Robert Francis Andrus**

**Médico y Cirujano**

**Guatemala, agosto de 2011**



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE CIENCIAS MÉDICAS**

**“LA CONTAMINACIÓN POR CIANOBACTERIAS  
DEL LAGO DE ATITLÁN”**

Estudio cualitativo realizado en comunidades ubicadas  
en la ribera del Lago de Atitlán en el Departamento de Sololá

junio 2011

TESIS

Presentada a la Honorable Junta Directiva  
de la Facultad de Ciencias Médicas de la  
Universidad de San Carlos de Guatemala

POR

**William Geovany Ajcalón López  
Robert Francis Andrus**

**Médico y Cirujano**

Guatemala, agosto de 2011



El infrascrito Decano de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de San Carlos de Guatemala hace constar que:

Los estudiantes:

William Geovany Ajcalón López  
Robert Francis Andrus

9618305  
200480030

han cumplido 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:

**"LA CONTAMINACIÓN POR CIANOBACTERIAS  
DEL LAGO DE ATITLÁN"**

**Estudio cualitativo realizado en comunidades ubicadas  
en la ribera del Lago de Atitlán en el Departamento de Sololá**

**junio 2011**

Trabajo asesorado por el Dr. Edwin Fernando Mérida Martínez y revisado por el Dr. Edgar Rodolfo de León Barillas, quienes avalan y firman conformes. Por lo anterior, se emite, firma y sella la presente:

**ORDEN DE IMPRESIÓN**

**En la Ciudad de Guatemala, dieciocho de agosto del dos mil once**

DR. JESÚS ARNULFO OLIVA LEAL  
DECANO



El infrascrito Coordinador de la Unidad de Trabajos de Graduación de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de San Carlos de Guatemala, hace constar que los estudiantes:

William Geovany Ajcalón López  
Robert Francis Andrus

9618305  
200480030

han presentado el trabajo de graduación titulado:

**"LA CONTAMINACIÓN POR CIANOBACTERIAS  
DEL LAGO DE ATITLÁN"**

**Estudio cualitativo realizado en comunidades ubicadas  
en la ribera del Lago de Atitlán en el Departamento de Sololá**

**junio 2011**

El cual ha sido revisado y corregido por el Profesor de la Unidad de Trabajos de Graduación -UTG-, Dr. Edgar Rodolfo de León Barillas y al establecer que cumple con los requisitos exigidos por esta Unidad, se les autoriza a continuar con los trámites correspondientes para someterse al Examen General Público. Dado en la Ciudad de Guatemala, el dieciocho de agosto del dos mil once.

**"ID Y ENSEÑAD A TODOS"**

**Dr. Edgar Rodolfo de León Barillas  
Coordinador**



Guatemala, 18 de agosto del 2011

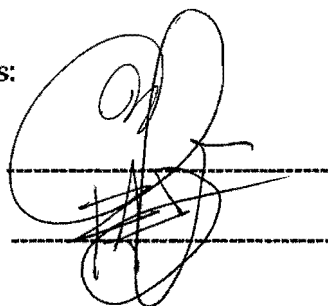
Doctor  
Edgar Rodolfo de León Barillas  
Unidad de Trabajos de Graduación  
Facultad de Ciencias Médicas  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente

Dr. de León Barillas:

Le informo que los estudiantes abajo firmantes:

William Geovany Ajcalón López

Robert Francis Andrus



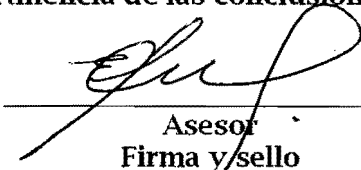
Presentaron el informe final del Trabajo de Graduación titulado:

**“LA CONTAMINACIÓN POR CIANOBACTERIAS  
DEL LAGO DE ATITLÁN”**

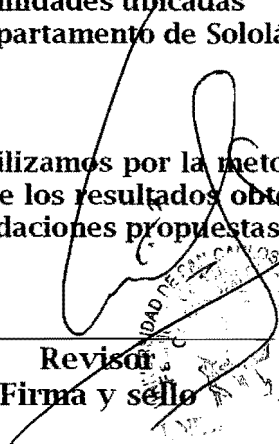
**Estudio cualitativo realizado en comunidades ubicadas  
en la ribera del Lago de Atitlán en el Departamento de Sololá**

**junio 2011**


Del cual como asesor y revisor nos responsabilizamos por la metodología, confiabilidad y validez de los datos, así como de los resultados obtenidos y de la pertinencia de las conclusiones y recomendaciones propuestas.



Asesor  
Firma y sello  
Dr. Edwin Fernando Mérida  
Médico y Cirujano  
Col. 3561



Revisor  
Firma y sello



## RESUMEN

**Objetivo general:** Determinar la importancia para los pobladores de la ribera del Lago de Atitlán, tanto como el impacto social y la necesidad de abordaje del problema, de la contaminación del Lago de Atitlán por la cianobacteria. **Metodología:** Enfoque cualitativo por la cual se entrevistaron a 33 actores claves procedentes de las comunidades de la ribera del Lago de Atitlán durante el mes de junio de 2011. Estas entrevistas fueron grabadas, transcritas y luego las respuestas de los entrevistados fueron clasificadas en cuadros para su categorización y análisis. **Resultados:** Sobre la contaminación del lago de Atitlán por cianobacterias, los pobladores refirieron haber recibido información, aunque no suficiente; además el Lago de Atitlán, es una importante fuente de abastecimiento de agua para las comunidades de la ribera; mencionaron la inexistencia de programas enfocados a los riesgos a la salud por el consumo y/o utilización del agua contaminada por cianobacterias; se mencionaron otras acciones, enmarcadas en la gestión de desechos que desde múltiples sectores se han realizado. **Conclusiones:** La contaminación del Lago de Atitlán por cianobacterias es un problema, cuya comprensión requiere tomar en cuenta, además del aspecto ambiental, los aspectos sociales, políticos, económicos, educativos y etnográficos siempre presentes en las sociedades humanas; la conjunción de estos aspectos tiene implicaciones en la calidad de vida de los pobladores de la Cuenca del Lago de Atitlán, por ser el agua, además de un elemento fundamental para la vida, un vehículo para la propagación de patologías relacionadas con su contaminación. Las acciones para minimizar ese riesgo requieren inicialmente del compromiso individual de los pobladores de la Cuenca del Lago de Atitlán para aumentar sus posibilidades de ser efectivas, asimismo, aplicar la legislación en forma efectiva y enérgica.

Palabras claves: Cianobacteria, Lago Atitlán, algas azul-verdosas, eutrofización, saneamiento ambiental.





## ÍNDICE

1. Introducción	1
2. Objetivos	5
2.1 Objetivo general	5
2.2 Objetivos específicos	5
3. Marco teórico	7
3.1 Contextualización del problema	7
3.1.1 Características de la cuenca hidrográfica de Atitlán	7
3.1.2 Características del Lago de Atitlán	8
3.1.3 Calidad del agua del Lago de Atitlán	8
3.1.4 Comunidades en Sololá que puedan estar afectadas	9
3.1.5 Datos demográficos sobre la población afectada por municipio	9
3.1.6 Concepto de una cuenca hidrográfica	14
3.1.7 Concepto de un lago	15
3.1.7.1 Estatificación del lago	15
3.1.7.2 Oxígeno disuelto en el lago	15
3.1.7.3 Nutrientes	16
3.1.8 Concepto de una ribera de lago	17
3.1.9 Proyectos activos	17
3.1.9.1 Manejo de desechos sólidos	18
3.1.9.2 Manejo de desechos líquidos	18
3.1.9.3 Gestión de riesgos	20
3.1.9.4 Otros proyectos	20
3.2 Definición del problema	21
3.2.1 Relación de la contaminación de agua, eutrofización y la cianobacteria	21
3.2.2 Eutrofización	21
3.2.3 El porcentaje de lagos eutróficos según continente en 1993	22
3.2.4 Brote cianobacteriano	22
3.2.4.1 Especies de cianobacterias productoras de cianotoxinas	24
3.2.4.2 Papel de nitrógeno/fósforo en el brote cianobacteriano	24
3.2.4.3 Otros factores que favorecen el brote cianobacteriano	25
3.2.4.4 Monitoreo de las aguas por brotes cianobacterianos	25
3.2.5 Enfermedades producidas por agua contaminada	26
3.2.6 Valores guía para cianobacterias	26
3.3 Definición de cianobacteria	26

3.3.1	Clasificación de cianobacterias	27
3.3.1.1	Clasificación tradicional de cianobacterias según sus características morfológicas	27
3.3.1.2	Clasificación de cianobacterias por filogenia molecular	28
3.3.2	Fisiología y estructura	28
3.3.2.1	Cromatoplasma	29
3.3.2.2	Fotosíntesis oxigénica y el papel de los tilacoides	30
3.3.2.3	Fijación biológica de nitrógeno	31
3.3.2.4	Pared celular	33
3.3.2.5	Motilidad	33
3.3.2.6	Secreción moco-gelatinosa	34
3.3.2.7	Diferenciación y reproducción celular	35
3.3.3	Epidemiología	35
3.3.4	Implicaciones en el medio ambiente	36
3.3.5	Implicaciones médicas	36
3.3.5.1	Cianotoxinashepatotóxicas	38
3.3.5.2	Cianotoxinas neurotóxicas	41
3.3.5.3	Cianotoxinasdermatotóxicas e irritantes	43
3.3.5.4	Tratamiento médico para intoxicación por cianotoxinas	43
3.4	Soluciones para modificar la contaminación por cianobacterias	44
3.4.1	Tratamiento de aguas negras	44
3.4.2	Potabilización de agua	44
3.4.3	Cambios en el uso de agua	45
3.4.4	Legislación	45
3.4.4.1	Decreto 64-97	45
3.4.4.2	Acuerdo Gubernativo 51-2010	46
3.4.4.3	Valores límites máximos permisibles para aguas vertidas en la Cuenca del Lago de Atitlán	47
3.4.4.4	Decreto 17-73 y sus reformas 33-96	47
3.4.4.5	Reglamentación local	48
3.4.5	Esfuerzo comunitario	49
4.	Metodología	51
4.1	Tipo y diseño de la investigación	51
4.2	Unidad de análisis	51
4.2.1	Unidad primaria	51
4.2.2	Unidad de análisis	51
4.2.3	Unidad de información	51

4.3 Población	51
4.4 Definición y operacionalización de las categorías	52
4.4.1 Categorías	52
4.5 Técnicas, procedimientos e instrumentos a utilizar en la recolección de datos	55
4.5.1 Técnica para la recolección de datos	55
4.5.2 Procedimiento	55
4.5.3 Instrumento	56
4.6 Plan de procesamiento y análisis de datos	57
4.6.1 Procesamiento de datos	57
4.6.2 Análisis de datos	58
4.7 Alcances y límites de la investigación	58
4.7.1 Alcances	58
4.7.2 Límites	58
4.8 Aspectos éticos de la investigación	58
5. Resultados	59
6. Discusión	71
7. Conclusiones	107
8. Recomendaciones	109
9. Aportes	111
10. Referencias bibliográficas	113
11. Anexos	119



## 1. INTRODUCCIÓN

En octubre de 2008, a través de los medios de comunicación social se dio a conocer que el Lago de Atitlán estaba contaminado por cianobacterias, tipo *Lyngbya hierononymusii*, lo cual actualmente satura este cuerpo de agua dulce (1). El término cianobacteria se refiere a un grupo grande y diverso de bacterias que poseen clorofila sin poseer cloroplastos (contenido en membranas especializadas –tilacoides- dentro de las células) y realizan la fotosíntesis en presencia de luz y aire, con producción asociada de oxígeno (2). Muchas variedades han sido asociadas a varios efectos tóxicos sobre el medio ambiente tanto como el cuerpo humano (3).

La causa de la proliferación de cianobacterias en el Lago de Atitlán es multicausal, entre los cuales se mencionan, el uso inadecuado de fertilizantes químicos, la descarga de aguas negras producido en su mayoría en por lo menos 15 comunidades, entre otras causas. Estos cambios en el ecosistema inmediato a estas comunidades pueden tener consecuencias severas sobre la salud de sus habitantes quienes frecuentemente se bañan en esta agua, lavan su ropa y lo llevan para beber (1), siendo que las cianobacterias pueden estar asociadas a toxinas potencialmente cancerígenas, nefrotóxicas, hepatotóxicas, neurotóxicas (3) e incluso una causa importante de afectaciones dermatológicas (4).

En Salud Pública y estudios ecológicos las cianobacterias desempeñan un rol importante como bioindicadores en saneamiento ambiental, especialmente sobre la calidad de agua para el consumo humano (5). Además existen estudios enfocados en la calidad de agua específicamente del Lago de Atitlán (6, 7) y su entorno (8).

Según la Comisión Interinstitucional de Acciones Conjuntas del Sector Académico y del Sector de Salud en su documento *Prioridades Comunes de Investigación en Salud 2006-2010*, se había planteado dentro del área de investigación: Saneamiento Ambiental, que había una carencia del análisis de calidad y facilidades de acceso de agua para consumo humano a nivel comunitario. Además, se consideró que esto se relacionó con una afectación de la calidad y contaminación de los alimentos. Por tanto se debería realizar estudios para indagar sobre el déficit de análisis de la calidad de agua, tanto como el déficit de acceso al agua adecuada para el consumo humano, y el inadecuado manejo de los alimentos (9).

En el presente estudio se realizó una investigación de tipo cualitativo en la ribera de la Cuenca del Lago de Atitlán, en el departamento de Sololá, con diversos actores claves de las comunidades ubicadas en la ribera del Lago de Atitlán, quienes fueron entrevistados durante el mes de junio de 2011. Los entrevistados eran líderes comunitarios e institucionales como: integrantes de cofradías, grupos culturales y religiosos, COCODES, COMUDES, Ministerio de Educación, MSPAS, y ONG's.

El principal aporte de nuestro estudio fue determinar con los pobladores la importancia que tiene la contaminación del lago de Atitlán por la cianobacteria para su salud y las acciones realizadas a nivel comunitario e institucional para reducir los riesgos potenciales derivados de la utilización del lago como fuente de abastecimiento de agua.

Los pobladores de la ribera del Lago de Atitlán han recibido información insuficiente sobre la contaminación del lago por cianobacterias, por lo que se tiene poco conocimiento sobre las causas y efectos que dicho problema plantea para la salud de los mismos, así mismo, el Lago de Atitlán es la fuente principal de recursos naturales y económicos para los pobladores de la ribera, además de no estar informados sobre las amenazas a la disponibilidad de esta fuente de agua, que agrava la situación de las comunidades. A pesar de que se ha realizado acciones tendientes a mitigar este problema, la percepción de los pobladores es que aún resultan insuficientes para un problema que es de por sí complejo.

Preguntas de la investigación:

1. ¿Han tenido los pobladores de las comunidades ubicadas en la ribera del Lago de Atitlán información sobre la cianobacteria?
2. ¿Cuáles son las causas de la proliferación de la cianobacteria según los pobladores?
3. ¿Cuáles son los usos que los pobladores dan al agua del Lago de Atitlán?
4. ¿Cuáles son las fuentes de abastecimiento de agua de las comunidades de la ribera del Lago de Atitlán?
5. ¿Qué métodos de potabilización son utilizados por los pobladores para el consumo humano?

6. ¿Cuáles son las patologías o riesgos potenciales para la salud humana derivados por el uso de agua contaminada por cianobacterias en el Lago de Atitlán?
7. ¿Es posible que exista algún programa de atención médica para abordar los riesgos en la salud humana debido a la presencia de cianobacterias en el Lago de Atitlán?
8. ¿Según los pobladores de la ribera del Lago de Atitlán, cuáles son las acciones comunitarias e institucionales que han sido implementados?
9. ¿Según los pobladores, cuáles son las acciones que faltan de realizar para reducir el problema de la contaminación del lago por la cianobacteria?





## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

- 2.1.1 Determinar la importancia para los pobladores, así como el impacto social y la necesidad de abordaje del problema de la contaminación del Lago de Atitlán por cianobacterias.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- 2.2.1 Determinar si los pobladores de la ribera del Lago de Atitlán han recibido información sobre las cianobacterias.
- 2.2.2 Determinar con los pobladores las causas de la proliferación de cianobacterias.
- 2.2.3 Enumerar los usos del agua por parte de los pobladores de la ribera del Lago de Atitlán.
- 2.2.4 Determinar las fuentes del agua que los pobladores de la ribera del Lago de Atitlán utilizan para consumo humano.
- 2.2.5 Enumerar los métodos que los pobladores utilizan para la potabilización del agua extraída del Lago de Atitlán para el consumo humano.
- 2.2.6 Enumerar las enfermedades relacionadas con el consumo y/o contacto con agua contaminada por cianobacterias.
- 2.2.7 Determinar si existen programas de atención médica para abordar los riesgos potenciales a la salud humana por la contaminación del Lago de Atitlán por cianobacterias.
- 2.2.8 Determinar con los pobladores las acciones comunitarias e institucionales que se han implementado para reducir la proliferación de cianobacterias en el lago de Atitlán.
- 2.2.9 Determinar con los pobladores acciones que no se hayan realizado para reducir la contaminación del Lago de Atitlán por cianobacterias.



### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. Contextualización del problema

##### 3.1.1. Características de la cuenca hidrográfica de Atitlán

La cuenca hidrográfica de Atitlán abarca 625 km<sup>2</sup> (7, 10). Se encuentra en la región suroriental en el altiplano de Guatemala en la Sierra Madre dentro del departamento de Sololá (7). 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. El área limita 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. Sus coordenadas son las siguientes: Latitud Norte 14° 31' 33" y Longitud Oeste 91° 03' 25"; Latitud Norte 14° 31' 33" y Longitud Oeste 91° 20' 25"; Latitud Norte 14° 53' 50" y Longitud Oeste 91° 20' 10"; y Latitud Norte 14° 53' 50" y Longitud Oeste 91° 03' 25" (10).

Entre los habitantes de la cuenca hidrográfica, la agricultura es la principal actividad económica. Sololá es uno de los departamentos más densamente poblados en el país (8). La población se había duplicado en 25 años desde 1968 hasta 1993 (7). En 2000, la población de la cuenca era de 307,791 habitantes que representaba el 70% de la población total del departamento de Sololá (11). Ambos factores, la actividad agrícola y la población densa, son factores fuertes que han extremado la eutrofización del Lago de Atitlán.

Castellanos (6) publicó sus conclusiones sobre los usos potenciales de la cuenca de Atitlán en 2000. Discute la clasificación de suelos en ocho categorías, donde la primera es el más útil para la agrícola y la octava es el menos útil. Entre sus conclusiones, menciona que los suelos de la cuenca de Atitlán en su mayor parte son de la octava categoría. Es decir, estos suelos son poco profundos con textura deficiente, topografía quebrada, con erosión severa y drenaje destructivo. Las actividades agrícolas son las menos prácticas para estos tipos de suelos.

### 3.1.2. Características del Lago de Atitlán

El Lago de Atitlán se encuentra a una altitud de 1,526 metros sobre el nivel del mar en la región de la cuenca de Atitlán (7, 12). Tiene un volumen de 24 km<sup>3</sup> y una profundidad máxima de 324 metros y una profundidad promedio de 188 metros (7). Está rodeado en todos sus lados por montañas hasta una altitud mínima de 900 metros y una altitud máxima de 3,500 metros sobre la superficie del lago. Las montañas más altas que forman la cuenca de Atitlán son los volcanes Atitlán y San Pedro, cuyas elevaciones sobre el nivel del mar son 3,557 metros y 3,020, respectivamente (12).

El Lago de Atitlán mide aproximadamente 19 por 38 km con una extensión de 130 km<sup>2</sup> (7, 10). Este lago tiene varias entradas que consisten en arroyos. No tiene ninguna salida obvia (12), es decir que es un lago endorreico. El intercambio de agua del Lago de Atitlán ocurre cada 120 años. Posee una estratificación durante los meses de marzo hasta noviembre; durante diciembre y enero el lago presenta una convección que desestratifica el lago (7). El Lago de Atitlán, como otros lagos tropicales, presenta una inversión térmica durante estos meses (13). El tamaño grande del Lago de Atitlán permite el desarrollo de vientos y corrientes (7).

### 3.1.3. Calidad de agua del Lago de Atitlán

Dix (7) ha hecho estudios de la calidad de agua del Lago de Atitlán desde 1968 hasta la fecha actual. En una presentación comparativa de sus resultados de 1968 y de 2009, se demostró que la transparencia del agua en el centro del lago ha reducido 30%. La temperatura de agua ha aumentado desde un promedio de 20°C hasta 24°C. Afirma que la relación entre nitrógeno y fósforo debería ser por lo mínimo 16:1 y según la composición química del agua de Lago de Atitlán en noviembre de 2008 esta relación se encuentra a 2:1, comprobando un exceso de fósforo. Además, el oxígeno disuelto en agua ha aumentado 1.5 mg/L. Sobre todo, ha demostrado el aumento de cianobacterias, especialmente *Lyngbya hierononymusii* y *Microcystis aeruginosa*. En noviembre de 2009, *Lyngbya hierononymusii* era el organismo más abundante en el agua del Lago de Atitlán.

#### 3.1.4. Comunidades en Sololá que puedan estar afectadas

El Departamento de Sololá cuenta con 19 municipios: Concepción, Nahualá, San Andrés Semetabaj, San José Chacayá, Panajachel, San Antonio Palopó, San Juan la Laguna, San Lucas Tolimán, San Marcos la Laguna, San Pablo la Laguna, San Pedro la Laguna, Santa Catarina Ixtahuacán, Santa Catarina Palopó, Santa Clara la Laguna, Santa Cruz la Laguna, Santa Lucía Utatlán, Santa María Visitación, Santiago Atitlán y Sololá. De estos 19 municipios todas se encuentran en la región de la cuenca hidrográfica de Atitlán, y 10 se encuentran en la ribera del Lago de Atitlán. Los municipios que forman la ribera del Lago de Atitlán son: San Pedro La Laguna, San Juan La Laguna, San Marcos La Laguna, Santa Cruz La Laguna, Santiago Atitlán, San Lucas Tolimán, San Antonio Palopó, San Pablo La Laguna, Santa Catarina Palopó y Panajachel (11).

#### 3.1.5. Datos demográficos sobre la población afectada por municipio

Entre los datos obtenidos del censo del Instituto Nacional de Estadística Guatemala (INE), existe información que describe la población de los municipios que se encuentran en la ribera del Lago de Atitlán. Cada uno de estos municipios será descrito:

- a. En Panajachel hay una población de 11,142 habitantes, dispuestos en 2,302 hogares. El 72% (7,982 de 11,142) de la población es indígena. Existe una población económicamente activa de 4,041 personas, de las cuales 11% (452 de 4,041) se dedican a la agricultura. El 97% (2,243 de 2,302) de los hogares poseen algún tipo adecuado de sanitario, mientras que sólo el 51% (1,178 de 2,302) de los hogares utilizan un sistema público de drenajes. En 28% (648 de 2,302) de los hogares se utilizan leña para cocinar. El 2% (42 de 2,302) de los hogares tiran su basura en cualquier lugar. Menos de 1% (15 de 2,302) de los hogares extraen agua directamente del lago para el consumo, mientras que el 93% (2,148 de 2,302) de los hogares obtienen agua de algún chorro, sea intradomiciliar o compartido (14).

- b. En Santa Catarina Palopó hay una población de 2,869 habitantes, dispuestos en 505 hogares. El 99% (2,850 de 2,869) de la población es indígena. Existe una población económicamente activa de 922 personas, de las cuales 25% (232 de 922) se dedican a la agricultura. El 93% (470 de 505) de los hogares poseen algún tipo adecuado de sanitario, mientras que sólo el 2% (10 de 505) de los hogares utilizan un sistema público de drenajes. En 85% (430 de 505) de los hogares se utilizan leña para cocinar. El 2% (10 de 505) de los hogares tiran su basura en cualquier lugar. El 2% (11 de 505) de los hogares extraen agua directamente del lago para el consumo, mientras que el 97% (492 de 505) de los hogares obtienen agua de algún chorro, sea intradomiciliar o compartido (14).
- c. En San Antonio Palopó hay una población de 10,520 habitantes, dispuestos en 2,081 hogares. El 95% (9,946 de 10,520) de la población es indígena. Existe una población económicamente activa de 3,582 personas, de las cuales 60% (2,148 de 3,582) se dedican a la agricultura. El 92% (1,921 de 3,582) de los hogares poseen algún tipo adecuado de sanitario, mientras que sólo el 1% (23 de 3,582) de los hogares utilizan un sistema público de drenajes. En 92% (1,910 de 3,582) de los hogares se utilizan leña para cocinar. El 20% (425 de 3,582) de los hogares tiran su basura en cualquier lugar. Menor de 1% (16 de 3,582) de los hogares extraen agua directamente del lago para el consumo, mientras que el 95% (1,982 de 3,582) de los hogares obtienen agua de algún chorro, sea intradomiciliar o compartido (14).
- d. En San Lucas Tolimán hay una población de 21,455 habitantes, dispuestos en 3,864 hogares. El 93% (20,050 de 21,455) de la población es indígena. Existe una población económicamente activa de 5,812 personas, de las cuales 56% (3,267 de 5,812) se dedican a la agricultura. El 96% (3,702 de 3,864) de los hogares poseen algún tipo adecuado de sanitario, mientras que menos de 1% (30 de 3,864) de los hogares utilizan un sistema público de drenajes. En 81% (3,142 de 3,864) de los hogares se utilizan leña para cocinar. El 26% (1,009 de 3,864) de los hogares tiran su basura en cualquier lugar. El 4% (138 de 3,864) de los hogares extraen agua directamente del lago para el

consumo, mientras que el 95% (3,655 de 3,864) de los hogares obtienen agua de algún chorro, sea intradomiciliar o compartido (14).

- e. En Santa Cruz la Laguna hay una población de 4,197 habitantes, dispuestos en 780 hogares. El 99% (4,166 de 4,197) de la población es indígena. Existe una población económicamente activa de 1,136 personas, de las cuales 74% (835 de 1,136) se dedican a la agricultura. El 84% (652 de 780) de los hogares poseen algún tipo adecuado de sanitario, mientras que el 1% (8 de 780) de los hogares utilizan un sistema público de drenajes. En 92% (717 de 780) de los hogares se utilizan leña para cocinar. El 59% (464 de 780) de los hogares tiran su basura en cualquier lugar. El 2% (14 de 780) de los hogares extraen agua directamente del lago para el consumo, mientras que el 96% (745 de 780) de los hogares obtienen agua de algún chorro, sea intradomiciliar o compartido (14).
- f. En San Pablo la Laguna hay una población de 5,674 habitantes, dispuestos en 1,135 hogares. Casi el 100% (5,667 de 5,674) de la población es indígena. Existe una población económicamente activa de 1,682 personas, de las cuales 68% (1,144 de 1,682) se dedican a la agricultura. El 31% (347 de 1,135) de los hogares poseen algún tipo adecuado de sanitario, mientras que menos de 1% (5 de 1,135) de los hogares utilizan un sistema público de drenajes. En 93% (1,056 de 1,135) de los hogares se utilizan leña para cocinar. El 93% (1,061 de 1,135) de los hogares tiran su basura en cualquier lugar. El 0% (0 de 1,135) de los hogares extraen agua directamente del lago para el consumo, mientras que casi el 100% (1,134 de 1,135) de los hogares obtienen agua de algún chorro, sea intradomiciliar o compartido (14).
- g. En San Marcos la Laguna hay una población de 2,238 habitantes, dispuestos en 429 hogares. El 97% (2,179 de 2,238) de la población es indígena. Existe una población económicamente activa de 786 personas, de las cuales 50% (391 de 786) se dedican a la agricultura. El 67% (289 de 429) de los hogares poseen algún tipo adecuado de sanitario, mientras que el 2% (7 de 429) de los hogares utilizan un sistema público de drenajes. En 86% (370 de 429) de los hogares se utilizan leña para



cocinar. El 52% (225 de 429) de los hogares tiran su basura en cualquier lugar. Menos de 1% (3 de 429) de los hogares extraen agua directamente del lago para el consumo, mientras que el 98% (419 de 429) de los hogares obtienen agua de algún chorro, sea intradomiciliar o compartido (14).

- h. En San Juan la Laguna hay una población de 8,149 habitantes, dispuestos en 1,487 hogares. Casi el 100% (8,121 de 8,149) de la población es indígena. Existe una población económicamente activa de 2,585 personas, de las cuales 64% (1,643 de 2,585) se dedican a la agricultura. El 79% (1,175 de 1,487) de los hogares poseen algún tipo adecuado de sanitario, mientras que el 10% (145 de 1,487) de los hogares utilizan un sistema público de drenajes. En 94% (1,399 de 1,487) de los hogares se utilizan leña para cocinar. El 23% (339 de 1,487) de los hogares tiran su basura en cualquier lugar. Menos de 1% (3 de 1,487) de los hogares extraen agua directamente del lago para el consumo, mientras que el 98% (1,451 de 1,487) de los hogares obtienen agua de algún chorro, sea intradomiciliar o compartido (14).
- i. En San Pedro la Laguna hay una población de 9,034 habitantes, dispuestos en 1,987 hogares. El 98% (8,886 de 9,034) de la población es indígena. Existe una población económicamente activa de 2,992 personas, de las cuales 38% (1,129 de 2,992) se dedican a la agricultura. El 89% (1,763 de 1,987) de los hogares poseen algún tipo adecuado de sanitario, mientras que el 1% (19 de 1,987) de los hogares utilizan un sistema público de drenajes. En 77% (1,529 de 1,987) de los hogares se utilizan leña para cocinar. El 4% (74 de 1,987) de los hogares tiran su basura en cualquier lugar. El 2% (31 de 1,987) de los hogares extraen agua directamente del lago para el consumo, mientras que el 96% (1,912 de 1,987) de los hogares obtienen agua de algún chorro, sea intradomiciliar o compartido (14).
- j. En Santiago Atitlán hay una población de 32,254 habitantes, dispuestos en 6,681 hogares. El 98% (31,667 de 32,254) de la población es indígena. Existe una población económicamente activa de 12,032 personas, de las cuales 45% (5,444 de 12,032) se dedican a la

agricultura. El 88% (5,858 de 6,681) de los hogares poseen algún tipo adecuado de sanitario, mientras que el 12% (815 de 6,681) de los hogares utilizan un sistema público de drenajes. En 90% (6,009 de 6,681) de los hogares se utilizan leña para cocinar. El 17% (1,151 de 6,681) de los hogares tiran su basura en cualquier lugar. El 7% (444 de 6,681) de los hogares extraen agua directamente del lago para el consumo, mientras que el 89% (5,930 de 6,681) de los hogares obtienen agua de algún chorro, sea intradomiciliar o compartido (14).

Al analizar las estadísticas de los diez municipios mencionados se observa que en la ribera del Lago de Atitlán hay una población conjunto de 114,426 habitantes. De esta población 17,392 se dedican a la agricultura, siendo el 46% (17,392 de 37,509) de la población económicamente activa (14). En parte esto puede explicar una de las causas de la presencia de la cianobacteria en el Lago de Atitlán ya que una población que se dedica mayormente a la agricultura tiene una tendencia a promover la erosión de suelos debido a la deforestación y debido al gran uso de jabones y pesticidas que contienen nitrógeno y fósforo (16). Aunque 87% de los hogares tienen algún sanitario adecuado, todavía existen 2,867 hogares sin sanitario adecuado (14) indicando una gran cantidad de residuos líquidos no tratados con altas cantidades de nutrientes que entran directamente al lago. Sólo 2,732 de los hogares de los municipios de la ribera del Lago de Atitlán utilizan un sistema público de drenaje, formando el 12% (14). Al no haber ninguna planta de tratamiento de aguas residuales para estas comunidades, el agua residual producida entra al lago como fuente alta en nutrientes (16). El 82% de los hogares dependen del consumo de leña para cocinar (14), motivo importante de la deforestación. El 23% de los hogares no cuentan con ningún sistema para la disposición de sus basuras y por tanto la tiran en cualquier lugar, produciendo una gran cantidad de residuos sólidos que potencialmente entran al lago contribuyendo en su contaminación (14). Sólo el 3% de los hogares extraen agua directamente del lago para consumir, sin embargo, vale enfatizar que los habitantes de 682 hogares consumen agua directamente del lago (14).

La ejecución efectiva de cualquier programa o acción que tiene un abordaje sobre el control de agua potable y aguas residuales y especialmente prácticas agrícolas tiene que comenzar con la aceptación por los pobladores de las comunidades de la ribera del Lago de Atitlán. Una importante barrera para considerar es la diversidad de grupos étnicos y dialectos maya utilizados en esta región, especialmente Ki'ché, Tz'utujil y Kakch'iquel (11) ya que 95% de los pobladores de estos municipios son indígenas (14). Los habitantes de grupo étnico indígena han sido asociados estadísticamente a un mayor porcentaje de pobreza y extrema pobreza en Guatemala tanto como otros fenómenos negativos en el desarrollo humano y la salud (15). La barrera lingüística y la falta de desarrollo debido a la pobreza son dos factores que han contribuido en el apareamiento del problema actual de la contaminación del Lago de Atitlán por cianobacterias, tanto como la búsqueda y ejecución de soluciones.

#### 3.1.6. Concepto de una cuenca hidrográfica

Una cuenca hidrográfica es la extensión territorial donde el agua de superficie que proviene de lluvia o fuentes subterráneas converge en una sola punta (17, 18). Es la unidad geográfica natural que ofrece un marco apropiado para la planificación del desarrollo social y económico de una región o país, la cual se contempla con los aspectos demográficos y culturales que se encuentran relacionados entre sí (8, 18). Al considerar la complejidad de una cuenca hidrográfica, se toma en cuenta sus habitantes y el conjunto de sus hábitos que afectan el ecosistema. Tapia (18) consideró los habitantes de una cuenca como "unidades de planificación", porque de la misma forma que la población puede destruir el ecosistema, también se puede organizar para su preservación y restauración. Al contrario, las Agencias de Cuencas de Francia formularon la observación de que, "la intervención no pensada del hombre sobre uno solo de estos elementos rompe este equilibrio precario y determina un empobrecimiento general del medio natural."

### 3.1.7. Concepto de un lago

El lago es una masa de agua de tamaño considerable ubicado en una cuenca hidrográfica y rodeada por tierra (19, 20). Para distinguir un lago de una laguna, diferentes autores han propuesto diferentes tamaños en su definición. Este tamaño puede variar entre dos hectáreas (20) hasta 40 hectáreas (19) según la definición de cada autor.

Existe un intercambio de energía y masa entre el lago y su cuenca hidrográfica. Es decir que la cuenca influenciará al lago y el lago influenciará a la cuenca (8).

Los lagos situados en cuencas con terrenos altamente erosionables tienen mayor sedimentación que los lagos situados en suelos más estables, y así el proceso de eutrofización es más acelerado. La cuenca hidrográfica puede contribuir a la eutrofización de un lago de otras maneras por medio de un depósito de cargas enormes de contaminantes o nutrientes provenientes de las áreas urbanas y actividades intensivas de agricultura o ganadería (8).

#### 3.1.7.1. Estratificación del lago

La estratificación de los lagos tropicales tiene diferencias verticales pequeñas en temperatura. Es decir que hay una mayor temperatura cerca de su superficie y esta temperatura baja con la profundidad por estratos. Durante el invierno, el agua en la superficie se enfría y comienza a bajar mientras que el agua de las partes profundas comienza a subir, por medio de un proceso conocido como *inversión térmica* (13).

#### 3.1.7.2. Oxígeno disuelto en el lago

La concentración de oxígeno disuelto en el agua de un lago determina la presencia de la vida acuática (13). Este oxígeno es consumido por organismos aeróbicos; al disminuir su concentración

de oxígeno se favorece la proliferación de anaerobios. Los anaerobios son responsables de la formación de oxígeno en el agua, pero también son la causa de malos olores y una disminución de la calidad de agua (21). Cuando existe oxígeno en todos los estratos de un lago, igual se encuentra la presencia de vida. Sin embargo, durante el verano, cuando los estratos son más marcados, el oxígeno en el fondo se merma y la vida acuática debe subir para sobrevivir. En este momento se concentran los organismos en el estrato alto del lago. Durante el invierno cuando existe una inversión térmica, la vida puede existir en todos los estratos (13).

Todos los lagos presentan una demanda bioquímica de oxígeno para sostener la armonía su vida acuática (13, 21). La demanda de oxígeno cambia como consecuencia de la contaminación, desechos orgánicos, impurezas que afectan el paso de luz por el agua, y crecimiento de cianobacterias y liberación de cianotoxinas (13). La nitrificación aumenta considerablemente la demanda bioquímica de oxígeno debido a la necesidad de oxígeno disuelto para formar nitrito y nitratos a partir de amonio (21).

#### 3.1.7.3. Nutrientes

Los nutrientes esenciales para los microorganismos acuáticos son el nitrógeno y fósforo. A partir de estos, el fitoplancton y las cianobacterias incorporan estos elementos en una forma orgánica, como las proteínas, nucleótidos y fosfolípidos, para ser aprovechados por organismos mayores en la cadena alimenticia (13). El aumento en el aporte de los nutrientes a un lago desde su prospectiva cuenca hidrográfica crea una explosión de proliferación de microorganismos, afectando gravemente el equilibrio del ecosistema del lago (13, 21). La pérdida este equilibrio por el exceso de nutrientes eminentemente da lugar a un estado de eutrofización del lago. El aporte excesivo de nutrientes se debe a la actividad agrícola, urbanización e industrialización (13). El uso de detergentes ha sido atribuido al aumento de fósforo en las últimas décadas (21).

### 3.1.8. Concepto de una ribera de lago

*Ribera de lago* es un término geológico para describir la franja de terreno en la orilla de un lago. Las características de las riberas son influenciadas por la topografía de la región geográfica en la cual se ubica los lagos, la dinámica del agua que induce su erosión y las propiedades de suelos presentes (22).

### 3.1.9. Proyectos activos

Varios municipios del departamento de Sololá trabajan solos o agrupados en Mancomunidades (una asociación de poblaciones para el desarrollo de proyectos de desarrollo) apoyadas por la Agencia Española de Cooperación Internacional cuyas líneas generales de acción son: el Fortalecimiento Municipal y de la Mancomunidad, Fomento de la Economía Local y la Gestión Ambiental y de Riesgos. Existen tres Mancomunidades activas en las comunidades de la ribera del Lago de Atitlán, estos son: Tzoloj-yá, Mancatitlán y Manclalaguna. La Mancomunidad Tzoloj-Yá que agrupa a los municipios de Sololá, San Santa Lucía Utatlán y San José Chacayá, oficinas en Sololá realiza los siguientes proyectos. La Mancatitlán agrupa a los municipios de Panajachel, San Andrés Semetabaj, Santa Catarina Palopó y San Antonio Palopó, cuyas oficinas están localizadas en Panajachel. La Manclalaguna agrupa los municipios de San Juan La Laguna, San Pablo La Laguna y San Pedro La Laguna, cuyas oficinas están localizadas en San Pedro La Laguna. Entre las líneas generales de acción de las Mancomunidades, La Gestión Ambiental y de Riesgos está orientada hacia los proyectos de manejos de desechos. Los proyectos enmarcados incluye: manejo de desechos sólidos, manejo de desechos líquidos y la gestión de riesgos<sup>1</sup>.

El municipio de Santiago Atitlán gestiona sus proyectos con asesoría de la Junta de Andalucía a través del Programa de Cooperación Técnica

---

<sup>1</sup> (Ing. F. Juárez, coordinador del Proyecto de Manejo de Desechos Sólidos de la Mancomunidad "Mancatitlán", comunicación personal, 5 de mayo de 2011 ha señalado que...)

Internacional<sup>2</sup>, mientras que el municipio de San Lucas Tolimán gestiona la elaboración del Plan Maestro Municipal del Agua con la Asesoría de la Cooperación Española<sup>3</sup>. Existe un Comité San Lucas Todos por el Lago, lo cual es una organización no gubernamental, la cual se ha enfocado en campañas de sensibilización a escolares y adultos sobre medidas para reducir la contaminación sobre desechos sólidos, y reforestación<sup>2</sup>.

#### 3.1.9.1. Manejo de desechos sólidos

Según las líneas generales de las Mancomunidades, el manejo de desechos sólidos consta de tres módulos: Compostaje, Centro de Acopio y el Relleno Sanitario. De los anteriores, se está ejecutando actualmente por parte de la Mancatitlán en Panajachel, la construcción de la infraestructura para el compostaje el cual servirá para el tratamiento de los desechos orgánicos; al terminar esta fase se iniciará la construcción del centro de acopio cuya función es el manejo de los desechos inorgánicos. Por falta de terrenos adecuados, el relleno sanitario no se ejecutará<sup>4</sup>.

#### 3.1.9.2. Manejo de desechos líquidos

Actualmente la Mancomunidad, Mancatitlán, está instalando tuberías en Panajachel para la captación de las aguas servidas que serán redirigidas a las plantas de tratamiento de agua y con esto eliminar una fuente directa de contaminación del lago<sup>4</sup>. Además, trabajan en la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales. Esta planta tendrá la capacidad de tratar un caudal de 40 L/seg (50% del caudal total de Panajachel). Esta será la primera de dos

---

<sup>2</sup> (E. Yojcom, de la Dirección de Planificación de la Municipalidad de Santiago Atitlán, comunicación personal, 13 de mayo de 2011 ha señalado que...)

<sup>3</sup> (M. Mucía, de la Secretaría del Departamento Municipal de Agua de la Municipalidad de San Lucas Tolimán, comunicación personal, 13 de mayo de 2011 ha señalado que...)

<sup>4</sup> (Ing. F. Juárez, coordinador del Proyecto de Manejo de Desechos Sólidos de la Mancomunidad "Mancatitlán", comunicación personal, 5 de mayo de 2011 ha señalado que...)

plantas para ser construidas. El diseño de esta planta cumplirá el Acuerdo Gubernativo 50-2010 con tecnología de aireación extendida. Tratará a los desechos líquidos en tres fases: física, bacteriológica y química. La fase física tendrá dos componentes, un desarenador y un sedimentador. Esta agua luego pasará a un reservorio para la fase bacteriológica aeróbica, mientras que el lodo extraído del sedimentador pasará a un reservorio distinto para la fase bacteriológica anaeróbica. El tratamiento bacteriológico aeróbico mantendrá el agua en el reservorio por una duración aproximada de un mes, mientras que el agua es expuesta a un proceso llamado aireación. Un compresor distribuirá aire desde el fondo del reservorio continuamente. La aireación eliminará patógenos tanto como reducirá los niveles de nitrógeno del agua residual. En el tratamiento bacteriológico anaeróbico, el lodo extraído del sedimentador estará retenido en un reservorio cerrado, y así gas metano será extraído y quemado. Luego, el lodo será pasado a un patio de lodos para deshidratarlo. El lodo deshidratado podrá tener varios usos, especialmente como abono. Por último, la fase química consistirá en la floculación del agua que saldría del reservorio aeróbico con sales metálicas. Esto último fase reducirá los niveles de fósforo del agua residual<sup>5</sup>.

En Santiago Atitlán, por falta de espacio físico, no es posible por ahora la construcción de plantas de tratamiento de aguas servidas, las que actualmente están desembocando en el lago<sup>6</sup>.

En octubre de 2010, con el apoyo de la Cooperación Española, la Municipalidad de San Lucas Tolimán elaboró el Plan Maestro Municipal de Agua. Sin embargo, esta municipalidad aún no tiene ningún proyecto en marcha para el tratamiento de aguas servidas<sup>7</sup>.

---

<sup>5</sup> (Ing. R. Barahona, supervisor de la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales de INFOM sector Panajachel, comunicación personal, 5 de mayo de 2011 ha señalado que...)

<sup>6</sup> (E. Yojcom, de la Dirección de Planificación de la Municipalidad de Santiago Atitlán, comunicación personal, 13 de mayo de 2011 ha señalado que...)

<sup>7</sup> (M. Mucía, de la Secretaría del Departamento Municipal de Agua de la Municipalidad de San Lucas Tolimán, comunicación personal, 13 de mayo de 2011 ha señalado que...)



#### 3.1.9.3. Gestión de riesgos

La Municipalidad de Santiago Atitlán gestiona sus proyectos de gestión de riesgos con asesoría de la Junta de Andalucía a través del Programa de Cooperación Técnica Internacional. Actualmente, se está elaborando el Plan de Desarrollo Municipal que tiene como uno de sus ejes el aspecto ambiental<sup>8</sup>.

Uno de los factores contemplados entre los proyectos de gestión de riesgos en la Municipalidad de Santiago Atitlán es la erosión de los suelos volcánicos en su proximidad. Los suelos volcánicos que provienen del Volcán Atitlán y el Volcán Tolimán son ricos en fósforo, cuya erosión natural o artificial lo convierte en una fuente de nutrientes para el lago. Lo anterior orienta a una política de conservación de suelos por lo que se proyecta plantar más de 80,000 árboles y siembra de árboles de café<sup>8</sup>.

#### 3.1.9.4. Otros proyectos

Según una entrevista con personal de AMSCLAE, actualmente se realizan un estudio sobre *Lyngbya hierononymusii* presente en el Lago de Atitlán, lo cual consiste en un análisis molecular para determinar su origen, comportamiento y propiedades bioquímicas. Otro estudio que se realiza en AMSCLAE en colaboración con la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos Guatemala, se trata de determinar la cantidad de fertilizantes que es utilizado en el departamento de Sololá y determinar su papel en el apareamiento de la cianobacteria en el Lago de Atitlán<sup>9</sup>.

---

<sup>8</sup> (E. Yojcom, de la Dirección de Planificación de la Municipalidad de Santiago Atitlán, comunicación personal, 13 de mayo de 2011 ha señalado que...)

<sup>9</sup> (M. Chiroy, de AMSCLAE, comunicación personal, 3 de mayo de 2011 ha señalado que...)

### 3.2. Definición del problema

#### 3.2.1. Relación de la contaminación de agua, eutrofización y la cianobacteria.

El proceso de eutrofización de los lagos, como el Lago de Atitlán, es multicausal. La eutrofización es un proceso natural e inevitable, sin embargo, según la teoría de descarga de fósforo por aumento de nutrientes, la contaminación acelera este proceso (6, 7, 13, 21).

El factor más evidente que ha dado lugar a la contaminación del ecosistema de las cuencas hidrográficas en Guatemala se debe a la sobrepoblación. El crecimiento urbano ha dado lugar al aumento de otros tipos de contaminación por la producción industrial tanto como por el incremento de residuos domésticos. El principal problema en la producción industrial para una cuenca hidrográfica es la creación de residuos líquidos y sólidos, los cuales son liberados al medio ambiente sin tratamiento adecuado. En Guatemala, el sector industrial no funciona de acuerdo a las características del ecodesarrollo que reducen o eliminan la producción de dichos residuos (13).

La acumulación del problema que sufre un lago al recibir grandes cantidades de residuos líquidos se impacta al ecosistema por el depósito de compuestos tóxicos a través la contaminación química, la proliferación de agentes patógenos, y la eutrofización de sus aguas (13).

Otra forma de contaminación presente en Guatemala que acelera la eutrofización de los lagos es la deforestación, especialmente en las riberas de los ríos. La deforestación junto con el crecimiento urbano desordenado es la causa del exceso de erosión de terrenos. La erosión excesiva crea un aumento de la sedimentación de nutrientes en los lagos y acelera el proceso de eutrofización. Otro resultado es la desestabilización de los ríos (13).

#### 3.2.2. Eutrofización

La *eutrofización* se conoce como el proceso por lo cual un cuerpo de agua, como un lago o río, envejece (23). Para que ocurra este proceso el lago

pasa de un estado pobre en nutrientes hasta un estado rico en nutrientes, especialmente fósforo y nitrógeno (13, 16). El agua de un lago eutrófico suele ser turbia, desagradable, con una abundancia de microorganismos especialmente con brotes cianobacterianos y toxinas (13, 16, 23). La eutrofización, aunque es proceso natural que se produce en todos los lagos (23), es reconocida como un problema de contaminación lo cual causa un deterioro de los ambientes acuáticos y problemas serios para los usos del agua, particularmente para el consumo humano (16).

La aceleración de la eutrofización de un lago debida a las prácticas humanas, como la agricultura y la urbanización se conoce como la *eutrofización cultural* (16).

### 3.2.3. El porcentaje de lagos eutróficos por continente en 1993:

Continente	Porcentaje
Asia	54%
Europa	53%
Norte América	48%
Sudamérica	41%
África	28%

Fuente: Chorus I, Bartram J. Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management. Londres: WHO; 1999.

### 3.2.4. Brote cianobacteriano

El *brote cianobacteriano* (cyanobacterial bloom) es un fenómeno donde ciertas condiciones como el aumento de temperatura, radicación, y/o la acumulación de nutrientes, promueven la proliferación de una especie de cianobacterias, la cual se vuelve dominante en la superficie del agua (16). De León de Uruguay (24), utilizó el término *floración algal* para describir el mismo fenómeno, definiéndolo como: "Los eventos de multiplicación y acumulación de cianobacterias que viven libres en los sistemas acuáticos,

que presentan un aumento significativo de la biomasa de una o pocas especies.”

Los eventos del brote cianobacteriano ocurren naturalmente en los sistemas acuáticos, sin embargo, se ha registrado un incremento mundial en frecuencias y duración, asociado a las condiciones de eutrofización de los cuerpos de agua (24). Los factores modificables que aceleran un brote cianobacteriano son los mismos que produce el estado eutrófico del lago por el ingreso evitable al lago de nutrientes como fósforo y nitrógeno, por ejemplo: grandes cantidades de aguas residuales domésticas e industriales, las áreas urbanizadas sin tratamiento de aguas alcantarilladas, sobrefertilización, lavado de suelos por prácticas agrícolas inadecuadas y campos de ganadería, deforestación y la erosión de tierra (16, 24). Los factores no modificables son: temperatura del agua, permanencia del agua en el lago (24, 25), y la estabilidad poblacional de las cianobacterias (16). Se considera que aproximadamente 50% de los brotes cianobacterianos al nivel mundial son tóxicos debido a que la especie de cianobacteria predominante es productora de una o más cianotoxinas (24). Por eso, precisamente, es necesario distinguir los brotes cianobacterianos en tóxicos o no tóxicos.

Existen otros riesgos producidos por los brotes cianobacterianos a parte de la síntesis de cianotoxinas. En un lago eutrófico, especialmente por la contaminación de aguas residuales, frecuentemente concurren otros organismos patógenos incluidos en el mucílago de las colonias de cianobacterias, tanto bacterianos, micóticos y parasitarios. Los ejemplos más frecuentes son *Pseudomonas aeruginosa* y *Entamoeba histolytica* (24). En el brote cianobacteriano hay un mayor consumo de oxígeno disuelto en el agua por el proceso de nitrificación, dándose lugar a la muerte de los peces, afectando eminentemente la cadena alimenticia (16, 21, 24). Un lago contaminado por cianobacterias puede asociarse a la muerte de animales domésticos y silvestres, especialmente aves, ovinos y bovinos (24). Por último, el brote cianobacteriano produce un olor y sabor desagradable del agua debido a compuestos volátiles sintetizados por cianobacterias como la geosmina, 2-metil-isoborneol y gas sulfhídrico (24).

- 3.2.4.1. Las especies de cianobacterias que han sido asociadas a brotes cianobacterianos y son productoras de cianotoxinas son las siguientes:

<i>Anabaena</i>	<i>Microcystis</i>
<i>Anabaenopsis</i>	<i>Nodularia</i>
<i>Aphanizomenon</i>	<i>Nostoc</i>
<i>Aphanocapsa</i>	<i>Oscillatoria</i>
<i>Coelosphaerium</i>	<i>Phormidium</i>
<i>Cylindrospermopsis</i>	<i>Planktothrix</i>
<i>Gloeotrichia</i>	<i>Pseudanabaena</i>
<i>Gomphosphaeria</i>	<i>Synechocystis</i>
<i>Lyngbya</i>	<i>Synechococcus</i>

Fuente: De León L. Floraciones algales de agua dulce: Cianobacterias, cianotoxinas. Su relación con la salud. Uruguay: Universidad de la República; 2006.

- 3.2.4.2. Papel de nitrógeno/fósforo en el brote cianobacteriano

En estado nutricional del agua tal vez es el factor más importante que favorece el brote cianobacteriano. El estado nutricional refiere al contenido de nitrógeno y fósforo y su relación (16). Entre los dos, el fósforo tiene el papel más importante en el brote cianobacteriano, mientras que nitrógeno tiene un papel menos importante (25). Las cianobacterias pueden realizar fijación de nitrógeno con nitrógeno atmosférico. Las algas dependen de nitrógeno o amonio en el agua. Una mayor relación de nitrógeno/fósforo promueve la proliferación de algas; al subir el contenido de fósforo, se disminuye esta relación, lo cual hace que el nitrógeno de agua disminuya, y así disminuye la proliferación de algas y promueve un brote cianobacteriano (16). Cuando existe una gran entrada de fósforo avanza el proceso de eutrofización (21, 23, 26).

La relación normal de nitrógeno/fósforo en un sistema límnic es de 16-23 moléculas de nitrógeno por cada molécula de fósforo. El brote

cianobacteriano aparece cuando existe una relación de 10-16 moléculas de nitrógeno por cada molécula de fósforo (16, 26).

#### 3.2.4.3. Otros factores que favorecen el brote cianobacteriano

Además de la afinidad de cianobacterias con el fósforo, es importante mencionar que las cianobacterias poseen una gran capacidad de almacenamiento de fósforo para hasta cuatro divisiones celulares. Al restaurar la relación de nitrógeno/fósforo, el brote cianobacteriano puede seguir con un aumento de 32 veces la biomasa actual (16).

Chorus (16) utilizó el término, *estabilidad poblacional de cianobacterias*, para describir su alta prevalencia poblacional debido a la ausencia de depredadores que consumen cianobacterias como fuente de alimentación. Al contrario, otras especies de fitoplancton son una fuente alimenticia para múltiples especies de copépodos, dafnidas y protozoos.

La temperatura tiene un papel en el apareamiento de los brotes cianobacterianos. Las algas alcanzan una proliferación máxima a los 20°C, mientras que las cianobacterias alcanzan una proliferación máxima a temperaturas mayores de 25°C (16) hasta 30°C (3). Esto explicaría la razón de por qué los brotes cianobacterianos suelen suceder durante el verano.

#### 3.2.4.4. El monitoreo de las aguas por brotes cianobacterianos se realiza por valores de biomasa de clorofila según estado trófico del lago:

Estado trófico del lago	Biomasa de clorofila
Oligotrófico	1-10 $\mu\text{g l}^{-1}$
Mesotrófico	10-100 $\mu\text{g l}^{-1}$
Eutrófico	100-300 $\mu\text{g l}^{-1}$
Hipereutrófico	300-3,000 $\mu\text{g l}^{-1}$

Fuente: Chorus I, Bartram J. Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management. Londres: WHO; 1999.

### 3.2.5. Enfermedades producidas por agua contaminada

Las patologías producidas por el uso de agua contaminada son: las enfermedades fecal-orales (ejemplo, infección por *E. coli*, *S. typhi*, giardiasis, cólera, etc.), las enfermedades de higiene del agua (ejemplo, tinea, escabiosis, pediculosis, tracoma ocular), las enfermedades por el contacto al agua contaminada (ejemplo, esquistosomiasis, alergias, dermatitis, etc.), las enfermedades por vectores que provienen del hábitat acuático (ejemplo, paludismo, dengue, filiarisis). Esta clasificación fue desarrollada para asociar las enfermedades según su causa, transmisión y control. Las patologías inducidas por cianobacterias se pueden clasificar en varios puntos de vista: como un problema fecal-oral, tanto como enfermedad por el contacto con agua contaminada (16).

### 3.2.6. Valores guía para cianobacterias en agua para el consumo humano

El límite establecido por la OMS para establecer si agua potable es inapta para el consumo humano debido a la contaminación por cianobacteria es de 1 µg/L de Microcystin-LR. Este valor es provisional, debido a la poca información disponible (3).

## 3.3. Definición de cianobacteria

Cianobacterias (griego: *kyanós* o “azul”; y *baktêrion* o “pequeño palo”) (26). Las cianobacterias conforman uno de las primeras formas de vida en este planeta (27).

Según la Clasificación de Wittaker (26) de 1969, los organismos se dividen entre cinco reinos: *Animalia*, *Plantae*, *Protista*, *Procarionte* y *Fungi*, de los cuales las cianobacterias forman parte del reino Procarionte.

### 3.3.1. Clasificación de cianobacterias

Se ha reconocido más de 2,000 especies de cianobacterias, las cuales están dispuestas en 15 géneros (16, 28). Todas las cianobacterias pertenecen a un grupo monofilético, teniendo entre ellas diferencias de tipo morfológico. La clasificación tradicional emplea las características morfológicas dividiendo a las cianobacterias en cinco subsecciones (ver cuadro en la siguiente página).

Las cianobacterias muestran una considerable diversidad morfológica. Ellos pueden vivir como células libres (*Chroococcus*) o formar filamentos (*Anabaena*) formados por células libres o colonias (*Schizothrix*). Los organismos que viven como células libres pueden dividirse en uno (*Merismopedia*), dos o tres planos. Los filamentos formados por ciertas especies pueden ser aparentes y verdaderos, en los filamentos aparentes, las vainas (unidad estructural del filamento) envuelven a dos células, separadas una de la otra con su respectiva envoltura, creciendo separadamente; en los filamentos verdaderos las células poseen el potencial para dividirse en más de un plano (*Hapalosiphon*). Para el mantenimiento de la estructura formada por las colonias de cianobacterias es gracias a la presencia de exopolisacáridos como el mucílago y/o una vaina firme (29).

#### 3.3.1.1. Clasificación tradicional de cianobacterias según sus características morfológicas:

Subsección I	Subsección II	Subsección III	Subsección IV	Subsección V
<i>Chroococcales</i>	<i>Pleurocapsales</i>	<i>Oscillatoriales</i>	<i>Nostocales</i>	<i>Stigonematales</i>
Coccoides unicelulares		Filamentos morfológicamente complejos		
Fusión binaria	Fusión múltiple	Solo células vegetativas	Forman heterocistos o aquinetos	
	Baeoquistes		Ramas simples	Ramas complejas

Fuente: Tomitani A, Knoll AH, Cavanaugh CM, Ohno T. The evolutionary diversification of cyanobacteria: Molecular-phylogenetic and paleontological perspectives. PNAS; 2006.



#### 3.3.1.2. Clasificación de cianobacterias por filogenia molecular

Otra clasificación se basa en filogenia molecular. Esta clasificación se basa específicamente en las secuencias de ácido ribonucleico ribosómico, 16S rRNA (30).

#### 3.3.2. Fisiología y Estructura

Las cianobacterias son bacterias fotosintéticas oxigénicas que se encuentran distribuidos ampliamente en ambientes terrestres y acuáticos, incluyendo hábitats extremos como aguas termales, desiertos y regiones polares (16, 27, 31). Son importantes productores primarios (primer nivel de la cadena trófica) globales hoy día y a través de la historia de nuestro planeta, además de ser importantes fijadores globales de nitrógeno, por lo tanto, como grupo cumplen un importante rol en los ciclos del nitrógeno y, en el del oxígeno y carbono en la Tierra, también es generalmente aceptado que los cloroplastos de las plantas y algas son derivados de un ancestro cianobacteriano, por lo que, sin duda alguna, las cianobacterias son la clave para comprender la biología prehistórica y la historia ambiental de la Tierra (30).

Las cianobacterias se encuentran entre los organismo con requerimientos nutritivos más simples pues solo necesitan nitrógeno y CO<sub>2</sub>, siempre presentes en la atmósfera, unos pocos minerales y agua (26).

Por lo anterior, son consideradas como *fotoautótrofos anaeróbicos* debido a que solo dependen de carbono inorgánico (fijando CO<sub>2</sub>), agua, nitrógeno, fósforo y luz como fuente de nutrición y, además son capaces de realizar la fotosíntesis oxigénica, un proceso metabólico básico de las plantas (16, 26).

Las cianobacterias forman parte del grupo de bacterias procariotas (26, 27, 28). Los procariotas son microorganismos cuyas células no poseen núcleo, aparato de golgi, mitocondria, retículo endoplásmico, ni plastos. El ADN se encuentra en el centro de la célula y no está rodeado por una membrana nuclear (26, 28, 32). El tamaño celular de las cianobacterias es variable, siendo entre 0.2 hasta 2 µm (16).

El *citoplasma* del cianobacteria presenta varias estructuras reconocibles como: los *carboxisomas*, *almidón cianoficeano*, *gránulos de glucógeno*, *gránulos de cianoficina*, *gránulos de polifosfato*, *vesículas gasíferas* y *tilacoides* (16, 26, 28). Dentro el citoplasma, existe un área reconocida como el *cromatoplasma* (28). La envoltura está constituida, como en todas las bacterias gramnegativas, por una membrana plasmática y una membrana externa, situándose entre ambas una *pared de mureína* (28).

#### 3.3.2.1. Cromatoplasma

Los diferentes pigmentos de las cianobacterias, tilacoides y carotinoides, se distribuyen en la periferia del citoplasma de la célula bacteriana en una región conocida como el *cromatoplasma*. Son los compuestos que forman estos pigmentos y su distribución en el cromatoplasma que determina el color de cada especie de cianobacterias (28).

La mayoría contienen pigmentos azul-verdosos y muchas veces son denominadas como *cyanophyceae* (algas azul-verdosas) o *cianofitas*. Las cianobacterias, siendo verdaderas bacterias, son los únicos procariotas que poseen la capacidad de realizar fotosíntesis (16, 31).

Los tilacoides se discutirán más adelante junto con fotosíntesis oxigénica.

Todas las especies de cianobacterias estudiadas poseen carotinoides en la forma de zeaxantina, equinenona, cantaxantina y mixoxantofila (28).

Se ha identificado en el cromatoplasma de las cianobacterias *vesículas de poli-β-ácido hidrobútrico*, sin embargo estas vesículas no se encuentran en todas las especies y su función es desconocida (28).

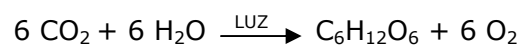
### 3.3.2.2. Fotosíntesis oxigénica y el papel de los tilacoides

La *fotosíntesis* (griego: *φῶτο* [*foto*] o "luz"; y *σύνθεσις* [*síntesis*], "unión") es la conversión de energía luminosa en energía química estable, siendo el adenosíntrifosfato (ATP) la primera molécula en la que queda almacenada esa energía química. Con posterioridad, el ATP se usa para sintetizar moléculas orgánicas de mayor estabilidad. Se debe tener en cuenta que la vida en nuestro planeta se mantiene fundamentalmente gracias a la fotosíntesis que realizan las algas y cianobacterias, en el medio acuático; y las plantas, en el medio terrestre. Estos organismos tienen la capacidad de sintetizar materia orgánica (imprescindible para la constitución de los seres vivos) partiendo de la luz y la materia inorgánica (33).

En la reacción química de la fotosíntesis intervienen docenas de enzimas que catalizan docenas de reacciones individuales. Sin embargo, conceptualmente la fotosíntesis puede considerarse como un par de reacciones acopladas mediante moléculas transportadoras de energía (34):

1. Las reacciones luminosas, la clorofila y otros pigmentos como los tilacoides captan la energía solar y convierten parte de la misma en energía química de moléculas transportadoras de energía (ATP, NADPH).
2. En las reacciones oscuras, las enzimas en el estroma utilizan la energía química de las moléculas transportadoras para llevar a cabo la síntesis de glucosa o de otras moléculas orgánicas.

A partir de las sencillas moléculas del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y agua, la fotosíntesis convierte la energía de la luz solar en energía química almacenada en los enlaces de la glucosa (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>) y libera oxígeno. La reacción química total resumida para la fotosíntesis oxigénica es (34):



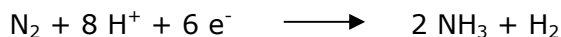
Los únicos procariotas que realizan fotosíntesis oxigénica son las cianobacterias (26, 27). Lo realizan por medio de sus pigmentos fotosintéticos, denominados *tilacoides*. Los *tilacoides* se encuentran dispersos en el cromatoplasma y funcionan sin la necesidad de organizarse en organelas como cloroplastos (28). Los tilacoides poseen moléculas de *clorofila a*, y nunca *clorofila b* o *clorofila c*. La *clorofila a* posee un color verde, sin embargo, los tilacoides poseen otros pigmentos denominado *ficobiliproteínas*, los cuales crean otros colores (16, 26). Las tres ficobiliproteínas más estudiadas son *ficocianina* y *aloficocianina* que son pigmentos azules, y la *ficoeritrina*, que es roja. Diferentes composiciones de estos diferentes pigmentos da lugar al color visible de una colonia de una especie de cianobacterias (16, 26, 28). Los pigmentos se disponen en cuerpos de inclusión, denominados *ficobilisomas*, los cuales se organizan en los *tilacoides* (16, 28).

Los tilacoides contienen otros compuestos a parte de los pigmentos ya mencionados. También contienen polisacáridos reunidos, denominados *almidón cianoficeano* que se disponen como pequeños gránulos como reserva energética, en la forma de  $\alpha$ -1,4-glicano. Los *gránulos de cianoficina* son polímeros de aminoácidos de arginina y asparagina que sirven de almacén de nitrógeno. Además poseen *gránulos de polifosfato* que sirven de almacén de fósforo. Los tilacoides poseen unas proteínas conocidas como carboxisomas que tienen el poder enzimático de la fijación fotosintética de  $\text{CO}_2$  en el primer paso de las reacciones de fotosíntesis. La carboxisoma cianobacteriana ha sido identificada como ribulosa 1,5-bifosfato carboxilasa-oxigenasa (RuBisCO) (28).

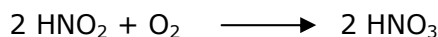
#### 3.3.2.3. Fijación biológica de nitrógeno

La fijación *biológica de nitrógeno* es el proceso en que nitrógeno atmosférico en la forma de  $\text{N}_2$  se convierte en amonio ( $\text{NH}_3$ ) por medio de una enzima utilizada por ciertos procariotas, especialmente

las cianobacterias, denominada nitrogenasa. La fórmula de la fijación de nitrógeno es la siguiente (35):



La acumulación de amonio en el agua a partir de materia orgánica por putrefacción y la fijación de nitrógeno sufre un proceso de *nitrificación* catalizada por cianobacterias tanto como por otras bacterias en el sistema acuático para convertir el amonio en nitritos y nitratos (21).



Estos procesos son esenciales para la continuidad de la existencia de vida en la tierra porque por medio de los nitritos y nitratos, el nitrógeno orgánico se encuentra disponible en la tierra para entrar a la cadena alimenticia para la formación de nucleótidos y aminoácidos en todos los eucariotas (16, 26).

El exceso de nitritos y nitratos en el agua es un indicador de putrefacción que multiplica la proliferación de microorganismos (21). En el proceso de eutrofización de lagos y ríos, frecuentemente se resulta en apareamiento de brotes cianobacterianos cuya acumulación es conocida como biomasa o "lana" (inglés: *scum*) en la superficie del agua. Este acumulo de biomasa satura el sistema acuático y el decaimiento de la biomasa sufre una nitrificación excesiva, la cual agota la concentración de oxígeno disuelto en el agua y luego causa el ahogamiento de otras especies que comparten el mismo hábitat (16).

#### 3.3.2.4. Pared celular

No todas las cianobacterias tienen una pared celular. El prototipo de las cianobacterias con pared celular son los *Oscillatoriales*. Estas cianobacterias tienen una pared celular que se dispone en cuatro capas. La pared es rígida y compuesta de mureína, lo cual es un péptidoglicano compuesto en cadenas y enlaces colaterales de residuos alternantes de *N*-acetilglucosamina y *N*-ácido acetilmurámico. La pared es fenestrada con poros que miden 70 nm. La síntesis de su pared es inhibida por antibióticos  $\beta$ -lactámicos, especialmente penicilina, igual como otras bacterias Gram-negativo. La parte exterior contiene lipopolisacáridos, los cuales sirven de antígenos (28).

#### 3.3.2.5. Motilidad

La motilidad de la cianobacteria se consigue mediante la pared celular en muchas de sus especies estudiadas. La pared regula la formación de pequeñas vesículas gaseosas que tienen un papel en determinar la presión hidrostática (inglés: *bouyancy*) para la movilidad de las cianobacterias en ambientes acuáticos (16, 28). La presión hidrostática es la propiedad física, según el *principio de Arquímedes*, de que un objeto pueda ser sumergido en un fluido sin hundirse. Esta propiedad es establecida por una presión hidrostática para un determinado peso y densidad del objeto sumergido en una columna vertical del líquido (36). Las cianobacterias pueden controlar la cantidad de vesículas gaseosas en su interior para alterar su presión hidrostática y así cambiar su ubicación vertical en el agua (16, 28).

Este mecanismo se encuentra regulado por un proceso fisiológico dentro de las cianobacterias. Por ejemplo, las vesículas se encuentran más abundantes con menos disponibilidad de luz, y así, las cianobacterias comienzan a subir hacia la superficie del agua para encontrar una fuente más intensa de luz. Al contrario, con el

aumento de fósforo orgánico (como ATP), se disminuyen las vesículas gaseosas y así se reduce la presión hidrostática (16).

Las cianobacterias pueden desplazarse sobre una superficie a velocidades de 2-11  $\mu\text{m}/\text{segundo}$ . *La teoría del desplazamiento de cianobacterias* describe que tal vez las cianobacterias contienen múltiples microfibrillas en su superficie que mantienen un movimiento espiral, produciendo una fricción entre el filamento o célula y el sustrato. Los movimientos varían según los estímulos de luz de cuatro formas, cada forma tiene sus pigmentos fotorreceptores y mecanismo fisiológico: fototaxis positiva en luz de baja intensidad y fototaxis negativa en luz de alta intensidad; fotoquinesis lo cual influye sobre la velocidad del movimiento, la cual aumenta según la intensidad de luz; por último, la respuesta fotofóbica, es un retroceso inmediato a presentar cualquier cambio de intensidad de luz. Los movimientos fototáxicos y fotofóbicos permiten que las cianobacterias sobrevivan en ambientes desfavorables y para evitar daño producido por luz de alta intensidad (28).

En el momento que un ambiente límnic se encuentra saturado con colonias de cianobacterias y algas, las células comienzan a competir para  $\text{CO}_2$  y pierden su capacidad de alterar su presión hidrostática. Más bien, las vesículas gaseosas no pueden colapsarse y las cianobacterias quedan atrapadas en la superficie del agua. Al ocurrir esto, las cianobacterias se sobreexponen a altas intensidades de luz y son destruidas. Consecuente, estas células mueren sobre la superficie del agua y comienzan a pudrirse, dando lugar a un olor, estético desagradable del lago (28) y la liberación de cianotoxinas (3).

#### 3.3.2.6. Secreción moco-gelatinosa

Frecuentemente se encuentra las células rodeadas por una secreción moco-gelatinosa que consiste en polisacáridos hidratados. Incluso,

las cianobacterias que no poseen una pared celular, como los *Chroococcales*, siempre se encuentran rodeadas por una película de secreción moco-gelatinosa (28).

#### 3.3.2.7. Diferenciación y reproducción celular

Algunas especies producen células libres y otras forman colonias esféricas o filamentosas (26).

Al contrario de la mayoría de las bacterias, algunas especies que forman colonias filamentosas son capaces de evolucionar a algún grado de diferenciación celular, produciendo dos tipos de células especializadas, tanto para fijación del nitrógeno llamados heterocistos que están distribuidos a lo largo de los filamentos, o como células en estado latente capaces de resistir condiciones ambientales extremas (aquinetos) (26, 30).

Las cianobacterias se reproducen de forma asexual, además, mediante reproducción parasexual, las cianobacterias pueden realizar transformación, conjugación y recombinación de su material genético (28).

#### 3.3.3. Epidemiología

Las cianobacterias han tenido un papel significativo en la producción de oxígeno atmosférico del mundo (27, 30, 33, 34) y la fijación de nitrógeno que contribuye al reciclaje de nutrientes en el ecosistema (16, 21, 23, 26, 30).

Se encuentran en todos los ambientes del mundo. Primordialmente, están distribuidas en ambientes acuáticos y terrestres, incluso hábitats extremos como aguas termales, desiertos y regiones polares (26, 30). Dentro de los ambientes acuáticos, las cianobacterias pueden habitar ambientes marinos tanto como los ambientes límnicos. La mayoría de las especies de



cianobacterias viven en los sistemas límnicos (28). En los sistemas límnicos existe un equilibrio entre las cianobacterias y fitoplancton (como las algas). Cuando se pierde este equilibrio se da lugar a un brote cianobacteriano (16).

#### 3.3.4. Implicaciones en el medio ambiente

El desarrollo de la sociedad ha transformado comunidades rurales y agrícolas en comunidades urbanas e industriales, lo cual implica cambios en el uso de agua, tanto en la cantidad en demanda y la concentración de contaminación y tipo de contaminantes. Actualmente, a nivel mundial se ha observado que en múltiples sistemas de agua, incluido el de agua potable, colonizadas por cianobacterias, y por consiguiente, cianotoxinas (16, 24) las cuales pueden producir efectos dañinos a la salud en animales y consumidores humanos (3, 4, 7, 16, 24, 25).

Aparte de los problemas en salud, las cianobacterias contribuyen con un problema estético especialmente para el turismo y uso recreacional de los cuerpos acuáticos y da sabor desagradable para el consumo humano (3, 16).

#### 3.3.5. Implicaciones médicas

La magnitud del problema no ha sido estimada hasta la fecha (16). Se ha atribuido el riesgo de enfermedad por cianobacterias a que un estimado 75% de las cianobacterias producen uno o más cianotoxinas, las cuales pueden producir problemas en la salud al ser ingeridas o por contacto a la piel (3, 16). Las formas que puede haber intoxicación por cianotoxinas han sido descritos como: por contacto a través los baños; ingesta de agua; inhalación de aire humidificado con agua con cianotoxinas; y consumo de animales expuestos a cianotoxinas (24). Braga (3) también describe la intoxicación por cianotoxinas como aguda o crónica.

El monitoreo de cianotoxinas en el agua para el consumo humano no es una práctica en la mayoría de los países del mundo. El monitoreo rutinario sólo se realiza en unos cuantos países. Por la carencia de monitoreo no existe

evidencia de una relación de brotes de gastroenteritis por la ingesta de cianotoxinas, tanto como otras enfermedades prevalentes (16).

Las cianotoxinas pueden ser péptidos cíclicos, los cuales son hepatotóxicos, alcaloides, los cuales son neurotóxicos o dermatotóxicos, y lipopolisacáridos, los cuales son irritantes y producen gastroenteritis y/o alergias (24). Los péptidos cíclicos están compuestos de 5 o 7 aminoácidos, donde sus aminoácidos terminales están condensados para formar un compuesto circular. Los alcaloides forman un grupo amplio de compuestos heterocíclicos nitrogenados (16). En la siguiente tabla se menciona las diferentes cianotoxinas estudiadas y algunas especies conocidas que producen cada toxina:

PÉPTIDOS CÍCLICOS	ESPECIE DE CIANOBACTERIA
<b>Hepatotoxinas</b>	
Microcistina	<i>Anabaena</i> spp
	<i>Anabaenopsis millerii</i>
	<i>Hapalosiphon</i> spp
	<i>Microcystis</i> spp
	<i>Nostoc</i> spp
	<i>Oscillatoria limosa</i>
Nodularina	<i>Nodularia</i> spp
<b>ALCALOIDES</b>	
<b>Neurotoxinas</b>	
Anatoxina-a	<i>Anabaena</i> spp
	<i>Aphanizomenon</i> spp
	<i>Cylindrospermum</i> spp
	<i>Microcystis</i> spp
	<i>Oscillatoria</i> spp
Anatoxina-a(s)	<i>Anabaena</i> spp
Saxitoxina	<i>Anabaena circinalis</i>
	<i>Aphanizomenon flosaquae</i>
	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>
	<i>Lyngbya wolleii</i>

<b>Dermatotoxinas</b>	
Aplisiatoxina	<i>Lyngbya</i> spp
	<i>Oscillatoria</i> spp
	<i>Schizothrix</i> spp
Lyngbiatoxina	<i>Lyngbya</i> spp
<b>Hepatotoxinas</b>	
Cilindrospermopsina	<i>Aphanizomenon</i> spp
	<i>Cylindrospermopsis</i> spp
	<i>Umezakia</i> spp
<b>LIPOPOLISACÁRIDOS</b>	
<b>Irritantes</b>	Todas las species

Fuente: Chorus I, Bartram J. Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management. Londres: WHO; 1999.

#### 3.3.5.1. Cianotoxinas hepatotóxicas

Las hepatotoxinas son más frecuentes que neurotoxinas. Han sido registrados en todos los continentes. El análisis de hepatotoxinas ha sido desarrollado con metodologías heterogéneas y actualmente hay un esfuerzo para estandarizar los métodos de detección y análisis (24).

Microcistina es la cianotoxina más distribuida al nivel mundial (24). Múltiples especies de cianobacterias de diferentes géneros producen estas hepatotoxinas, especialmente las especies del género *Microcystis*, por tanto vino el término *microcistinas*. Se han identificado al menos 50 congéneros de microcistinas (3). Es una hepatotoxina (3, 16, 24) que tiene el mecanismo de acción de inhibir la fosfatasa tipo 1 y 2a al nivel hepático. Es 100 veces más fuerte que el cianuro (24).

Mediante la exposición de microcistina a ratones de laboratorio mediante inyecciones intravenosas e intraperitoneales, 100% de los especímenes presentaron un aumento de enzimas hepáticas en suero, especialmente transferasa gamma glutamil. Muchos

especímenes presentaron falla hepática, shock y hemorragia intraperitoneal (3). La ingesta de microcistina produce falla hepática aguda y luego la muerte en animales en la naturaleza, especialmente aves y ganado. Además produce efectos acumulativos crónicos, especialmente como inductor de la formación de tumores hepáticos (24). Otro estudio con cerdos por lo cual agua contaminada con *Microcystis aeruginosa* fue administrada todos los días vía oral durante 44 días demostró la aparición de lesión hepática en los especímenes (3). La exposición a largo plazo de microcistinas en ratones por vía oral, fomenta la aparición de focos y nódulos preneoplásicos en el hígado (3).

Aunque no ha habido ningún caso de intoxicación aguda por microcistina en seres humanos previamente sanos que haya inducido su muerte, se ha estimado la cantidad de toxina, tanto como la cantidad de agua contaminada de esta toxina, que puede producir su muerte del ser humano (16, 24). Chorus (16) refiere un estudio que demostró la dosis letal de microcistina en ratones. Esta dosis fue calculada como 5,000 µg/kg. En teoría, la dosis letal para un adulto sano de 60 kg sería aproximadamente 12 mg. Sin embargo, el aspecto desagradable del agua contaminada por esta toxina provoca un rechazo natural en seres humanos, no obstante muchos animales no hacen ninguna distinción (24).

Varios autores describen el acontecimiento de la intoxicación aguda y fallecimiento de varios pacientes sometidos a diálisis renal por la exposición al agua contaminada por microcistina en 1996 en Brasil (3, 16, 24). Este cuadro grave que consiste en disfunción hepática asociada al consumo de agua contaminada por cianotoxinas en pacientes con falla renal ha sido denominado "Síndrome de Caruaru". Se han registrado más de 100 casos de los cuales 50 pacientes murieron a los pocos meses (24).

Anterior al brote de Síndrome de Caruaru ha habido otros casos de intoxicación aguda en humanos por microcistina. En Ohio de los Estados Unidos en 1931 fue reportado el primer caso de

gastroenteritis. En 1985, dos mil casos de gastroenteritis en Brasil fueron reportados. En el Reino Unido, 20 deportistas fueron intoxicados por inhalación durante canotaje en 1989. En 1995, en Australia se asociaron 852 casos de gastroenteritis, alergias, fiebre y/o úlceras dérmicas durante un periodo de 7 días. Todos los pacientes tenían el antecedente de haber participado en el uso recreacional de un lago que sufrió el mismo proceso de eutrofización y brote cianobacteriano (24).

A pesar de los grandes riesgos de la intoxicación aguda por grandes cantidades de cianotoxinas, el riesgo de la intoxicación crónica por pequeñas cantidades y tolerables es mucho mayor y aún no ha sido valorado. Cianotoxinas hepatotóxicas disueltas en el agua potable durante años de consumo pueden ser impactantes para comunidades enteras y una importante causa de cirrosis, cáncer y falla hepática (3, 24), tanto como cáncer de colon (25).

*Nodularia spumigena* ha sido asociado a nodularina, una cianotoxina hepatotóxica tipo péptido cíclico (24). Niveles altos de nodularina en alimentos ha sido motivo del puesto de contrabando en venta de pescado y mariscos cultivados en reservorios contaminados por *Nodularia* (25).

Otra cianotoxina hepatotóxica es la cilindrospermopsina, producto de una cianobacteria común en la región norte de Australia, llamada *Cylindrospermopsis raciborskii* (25). Esta hepatotoxina no es un péptido cíclico como la microcistina, sino ha sido clasificada como una cianotoxina alcaloide (24). Cilindrospermopsina ha demostrado una alta carcinogenicidad en experimentos de laboratorio con ratones y cultivos de leucocitos humanos (25). Su mecanismo de acción es por la inhibición de la síntesis protéica (16).

### 3.3.5.2. Cianotoxinas neurotóxicas

Las saxitoxinas de origen cianobacteriano han sido descritos como producto de *Anabaena circinalis* en Australia (25) y de *Aphaenizomenon flosaquae* en Norteamérica (16). Las saxitoxinas forman un grupo de neurotoxinas que producen un cuadro llamado *Intoxicación paralizante de molusco* o conocido por su término coloquial, “marea roja” (37, 38, 39). Esta enfermedad es sumamente grave y motivo de monitoreo continuo de alimentos que puedan ser afectados (37). El cuadro clínico se produce entre minutos hasta horas tras la ingesta de un alimento contaminado por saxitoxinas. El primer síntoma suele ser parestesia peribucal que luego se evoluciona en una constelación de síntomas: desequilibrio, incoordinación, debilidad, hiperreflexia, incoherencia, disartria, psialorrea, polidipsia, diarrea, dolor abdominal, náusea, vómitos, nistagmo, dismetría, cefalea, diaforesis, ceguera, dolor torácico y/o taquicardia. En un cuadro severo pueden aparecer parálisis y paro respiratorio a las 2 hasta 12 horas, ocasionando la muerte del paciente (38).

Reciben su nombre de la almeja, *Saxidomus giganteus*, una especie de moluscos bivalvas (38). Otro nombre para saxitoxina es *toxina paralizante de molusco* (16, 37), sin embargo una gran variedad de peces y mariscos lo pueden presentar especialmente cuando son asociados a la acuicultura (38). Los peces y mariscos obtienen las saxitoxinas por medio de bioacumulación cuando el sistema acuático donde viven, límnic o marino, presenta alto niveles de esta toxina (37, 38, 39). Saxitoxinas son producidas por 80 diferentes especies de microalgas y cianobacterias, más comúnmente por especies de algas de los géneros de *Alexandrium* y *Gymnodinium* (37). Las cianobacterias que producen saxitoxinas son: *Nodularia* spp, *Aphaenizomenon flosaquae*, *Anabaena circinalis*, *Cylindrospermopsis raciborskii* y *Lyngbya wolleii* (16, 24, 37). Durante el evento de un brote algal o cianobacteriano de una especie productora de saxitoxinas, grandes cantidades de esta toxina y otros pigmentos son liberadas produciendo una decoloración del agua o “marea roja” (16,

37, 38, 39). Durante el evento de marea roja produce la mortalidad masiva de peces y aves. La bioacumulación de saxitoxinas no cambia el apareamiento, olor ni sabor de los alimentos (38).

Las saxitoxinas son neurotoxinas alcaloides, hidrosolubles y termoestables que resisten la cocción, y permanecen en el agua a pesar de ebullición, cloración, floculación, y filtración con arena, y se remueve mediante la filtración por carbón activado (16, 25). Su mecanismo de acción consiste en la interferencia con la despolarización axonal por el bloqueo de canales de sodio (16, 38, 39).

El monitoreo para saxitoxinas consiste en la vigilancia del agua para especies productoras y el análisis mensual de los alimentos para saxitoxinas (39). El límite para consumo humano de saxitoxina es de 80  $\mu\text{g}$  por cada 100 g de alimento (37, 39).

En contraste a las saxitoxinas, las anatoxinas son extremadamente inestables y son difíciles para aislar y estudiar (3, 25). Anatoxina-a es producida por especies de los géneros: *Anabaena*, *Oscillatoria*, *Aphanizomenon* y *Cylindrospermum* (16, 24). Su  $\text{LD}_{50}$  ha sido estimado entre 200 a 250  $\mu\text{g kg}^{-1}$  de peso corporal. Anatoxina-a(s) es producto de por al menos dos especies del género *Anabaena* y tiene un  $\text{LD}_{50}$  estimado de 20  $\mu\text{g kg}^{-1}$  de peso corporal (16).

El mecanismo de acción de las anatoxinas ha sido bien documentado. Las anatoxinas son simpaticomiméticos al nivel de sinapsis neuronal; la anatoxina-a tiene un efecto análogo de acetilcolina mientras que las anatoxinas-a(s) actúan como una anticolinesterasa (16).

No hay evidencias de la intoxicación crónica por neurotoxinas de origen cianobacteriano, sin embargo, ante exposiciones grandes de neurotoxinas se han manifestado efectos agudos y letales en mamíferos. Los casos más frecuentes se asocian a la intoxicación paralizante de moluscos de origen límnic o marino (24).

#### 3.3.5.3. Cianotoxinas dermatotóxicas e irritantes

Es difícil establecer las concentraciones seguras de cianobacterias para el uso recreacional de agua en relación de sus efectos dermatotóxicos e irritantes, especialmente a tomar en cuenta que la sensibilidad varía según cada individuo como cualquier proceso alérgico (16, 40). La intoxicación aguda por lipopolisacáridos dermatotóxicos e irritantes de origen cianobacteriano ha sido causa de molestias menores como gastroenteritis y alergias (24).

Stewart (4) llevó a cabo una investigación experimental donde se aplicaron parches acuosos a diferentes suspensiones de cianobacterias a la piel de 39 pacientes adultos voluntarios durante 48 horas. Sólo un paciente presentó una enfermedad atópica en la piel secundaria al parche con cianobacterias. Este estudio demuestra que las cianotoxinas puedan provocar reacciones de hipersensibilidad pero la variabilidad entre diferentes pacientes aún no es clara. Bañarse en aguas densamente pobladas por la especie *Aphanizomenon* puede causar un cuadro desagradable en la piel conocido como "comezón del nadador" (41).

#### 3.3.5.4 Tratamiento médico para intoxicación por cianotoxinas

Una vez que se ha producido una intoxicación por cianotoxinas no existe ningún antídoto conocido para neutralizar los efectos. El tratamiento consiste en medidas preventivas y medidas paliativas de sostén en casos de intoxicación. Este serio problema es motivo para la elaboración de estrategias políticas y programas de Salud Pública para la prevención y control de la eutrofización, tanto como el monitoreo y control estricto de la calidad de agua y manejo de aguas residuales (24).



### 3.4 Soluciones para modificar la contaminación por cianobacteria

#### 3.4.1 Tratamiento de aguas negras

El desarrollo de alcantarilla ha sido necesario para evitar la fuga de contaminantes de pozas de letrinas a las aguas subterráneas. Los primeros sistemas de alcantarilla contienen bioplasmas para degradar materia orgánica, lo cual evita la depleción de oxígeno en los ríos y lagos. Patógenos también fueron eliminados parcialmente, pero los fosfatos no son afectados. En 1960, se mejoraron los sistemas para remover fósforo y más patógenos. Así atrasaron la eutrofización y proliferación de cianobacterias (24).

#### 3.4.2 Potabilización de agua

La potabilización no es una acción que reduce el impacto de la proliferación de la cianobacteria, sin embargo es considerada una solución cuando el agua ya se encuentra contaminada. El agua debe recibir tratamiento de potabilización antes de su consumo siendo que el consumo de agua contaminada por cianobacterias puede ser dañino para la salud (16).

Para potabilizar el agua, se requiere de una serie de procesos para eliminar todas las impurezas existentes que afectan su calidad y pueden dañar la salud de los consumidores; los tratamientos buscarán mejorar las características físicas, químicas y microbiológicas del agua; mejorando inicialmente las propiedades organolépticas (sabor y olor). Los tratamientos son los siguientes: primarios, en donde se realizan los procesos más elementales (remoción de sólidos grandes como desechos, arena, entre otros); secundarios, los cuales buscan clarificar el agua hasta un estado que facilite la aplicación de los procedimientos terciarios de desinfección, removiendo partículas más pequeñas, incluso, microscópicas y hasta microorganismos. Por último, están los tratamientos terciarios cuyo objetivo es la eliminación de los microorganismos presentes en el agua (bacterias, virus, hongos, algas, protozoos, etc.), requieren aguas lo más claras posibles para una mayor efectividad (42).

### 3.4.3 Cambios en el uso del agua

No es claro el futuro cambio para la demanda de agua, pero se proyecta que al aparecer una crisis alimentaria, va a haber mayor necesidad de irrigación en la agricultura, proceso que ya consume 70% de la demanda de agua a nivel mundial. Consumo industrial ha cambiado por medidas economizadoras. Uso doméstico sigue en aumento por el aumento de población, urbanización y sobrepoblación (16).

### 3.4.4 Legislación

El asunto del deterioro del ecosistema de una cuenca hidrográfica por la contaminación de agua es un grave problema para Salud Pública que es regulada por leyes a favor del medio ambiente (13).

#### 3.4.4.1 Decreto número 64-97

Según el Decreto número 64-97 del Organismo Legislativo del Congreso de la República de Guatemala denominado, "Ley que Declara Área Protegida de Reserva de Uso Múltiple Cuenca del Lago de Atitlán". Los objetivos de esta ley mencionados en el tercer artículo de este decreto incluyen los siguientes (10):

1. Fomentar el uso integral y sostenido de los recursos naturales del área;
2. Fortalecer las formas de vida y tradiciones culturales de los grupos mayas;
3. Promover la educación ambiental en el área;
4. Promover actividades de asistencia técnica en el área;
5. Conservación de la cuenca hidrológica del Lago de Atitlán;
6. Proteger la belleza escénica del área;
7. Proteger sitios y objetos del patrimonio cultural histórico y arqueológico del área;
8. Fomentar el aprovechamiento forestal sostenible en el área;

9. promover y fomentar la investigación sobre el medio natural y cultural del área;
10. Suministrar servicios de recreación y turismo ecológico en el área;
11. Mantener la diversidad biológica del área;
12. Conservar los ecosistemas del área en su estado natural.

Aunque este decreto no menciona ninguna acción específica que se debe cumplir, los objetivos hacen claro a la plena obligación del gobierno y cada ciudadano, especialmente los que habitan en la proximidad del Lago de Atitlán, para implementar acciones para cumplir estos objetivos. Este decreto es la base legal para modificar las actividades que actualmente están destruyendo el ecosistema en el Lago de Atitlán.

El artículo nueve de este mismo decreto, denominado "Prevención", también hace especial mención que para la óptima conservación del Lago de Atitlán, se debe aplicar medidas que prevengan funciones industriales u otras actividades potencialmente contaminantes (10).

#### 3.4.4.2 Acuerdo Gubernativo 51-2010

El Acuerdo Gubernativo 51-2010, lo cual fue actualizado en febrero de 2011, considera el Reglamento de Vertidos para Cuerpos Receptores de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno. Este reglamento exige el tratamiento de aguas residuales y establece parámetros para los límites máximos permisibles de contaminantes que las aguas residuales deben cumplir antes de ser vertidas al medio ambiente. La siguiente tabla resume estos valores límites máximos permisibles. Además, el Acuerdo Gubernativo 51-2010 menciona el compromiso del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales para el control y vigilancia de estas aguas, tanto como, el empleo de sanciones (43).

3.4.4.3 Valores límites máximos permisibles para aguas vertidas en la Cuenca del Lago de Atitlán según Acuerdo Gubernativo 51-2010:

Parámetros	Dimensionales	Ríos, Riachuelos, Quebradas, zanjones	Lagos	Descarga en el subsuelo	Sistemas de alcantarillado o publico
Temperatura	°C	+/-7*	+/-3**	Menor de 25	Menor de 40
Grasas y Aceites	mg/L	10	10	10	30
Materia Flotante	Ausente mg/L	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	50	30	50	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	100	60	100	200
Sólidos Suspendidos	mg/L	60	40	60	125
Nitrógeno Total	mg/L	1		5	10
Fósforo Total	mg/L	1	1	10	2
Potencial de Hidrógeno	Unidades pH	6-9	6-9	6-9	6-9
Color aparente	Unidades de color platino cobalto	30	30	30	30
Coliformes Totales	NMP	400	400	10,000	10,000

Fuente: Guatemala. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Acuerdo Gubernativo 51-2010: Reglamento de vertidos para cuerpos receptores de la cuenca del Lago de Atitlán y su entorno. Guatemala: MARN; 2010

3.4.4.4 Decreto número 17-73 y sus reformas 33-96

El Artículo 347 "B" del Código Penal, Decreto 17-73 y sus reformas Decreto 33-96 del Congreso de la República de Guatemala, Reformas al Código Penal dice lo siguiente (44): "Contaminación Industrial. Se impondrá prisión de dos a diez años y multa de tres mil a diez mil quetzales, al Director, Administrador, Gerente, Titular o Beneficiario de una explotación industrial o actividad comercial que permitiere o autorizare, en el ejercicio de la actividad comercial o industrial, la contaminación del aire, el suelo o las aguas, mediante emanaciones tóxicas, ruidos excesivos, vertiendo sustancias peligrosas o

desechando productos que puedan perjudicar a las personas, a los animales, bosques o plantaciones. Si la contaminación fuere realizada en una población, o en sus inmediaciones, o afectare plantaciones o aguas destinadas al servicio público, se aumentará el doble del mínimo y un tercio del máximo de la pena de prisión. Si la contaminación se produjere por culpa, se impondrá prisión de uno a cinco años y multa de mil a cinco mil quetzales.”

#### 3.4.4.5 Reglamentación local

En el municipio de Santiago Atitlán el COMUDE ha demostrado la sensibilización y legislación al respecto a la prevención de la contaminación del Lago de Atitlán. Cinco guías han sido implementadas son<sup>10</sup>:

1. Pescadores artesanales: no utilización de recipientes de plaguicidas o insecticidas como flotadores de redes o trampas.
2. Fabricantes de petates (alfombras de hojas de tul): manejo sustentable de la planta de tul.
3. Campañas de sensibilización en el municipio, publicidad (rótulos).
4. Reciclaje: alianza con empresas de reciclaje para manejo de desechos no biodegradables.
5. Producción de abono: compostaje de desechos orgánicos.

La conservación de suelos y manejo de cuencas ha sido empleado desde 1933 en los Estados Unidos y luego por países de Latinoamérica, especialmente Perú, desde 1950 (18). Programas nacionales para cumplir estos fines han sido implementados en muchos países con una filosofía en común, “Todos los usuarios tienen un legítimo derecho al agua y en consecuencia admitir también que cada uno de ellos tiene, en forma equivalente, limitaciones para su uso propio (18).”

---

<sup>10</sup> (E. Yojcom, de la Dirección de Planificación de la Municipalidad de Santiago Atitlán, comunicación personal, 13 de mayo de 2011 ha señalado que...)

En resumen, toda cuenca hidrográfica para mantenerse conservada, donde existe una densa población, requiere un sistema político que: vigila por la conservación de suelos, administra adecuadamente el agua y protege la cuenca de contaminación.

#### 3.4.5 Esfuerzo comunitario

Al respecto de contaminación de agua, la Organización Panamericana de la Salud enfatiza en el establecimiento de programas con los objetivos de la potabilización del agua para el consumo humano, las prácticas sanitarias adecuadas, y la participación comunitaria para la protección de los sistemas de agua por medio de alcantarilla y plantas de descontaminación (13).



## **4. METODOLOGÍA**

### **4.1 Tipo y diseño de la investigación**

Investigación con enfoque cualitativo

### **4.2 Unidad de Análisis**

4.2.1 Unidad primaria: diversos actores claves de las comunidades ubicadas en la ribera del Lago de Atitlán que fueron entrevistadas durante el mes de junio de 2011 (líderes comunitarios e institucionales como: integrantes de cofradías, grupos culturales y religiosos, COCODES, COMUDES, Ministerio de Educación, MSPAS, ONG´s).

4.2.2 Unidad de análisis: las entrevistas que fueron obtenidas basadas en el instrumento "Conocimiento de contaminación por cianobacteria de 2011" (CCCb-11).

4.2.3 Unidad de información: los diversos actores claves de las comunidades ubicadas en la ribera del Lago de Atitlán que fueron entrevistadas durante el mes de junio de 2011.

### **4.3 Población**

Muestra: existen 10 comunidades (San Pedro La Laguna, San Juan La Laguna, San Marcos La Laguna, Santa Cruz La Laguna, Santiago Atitlán, San Lucas Tolimán, San Antonio Palopó, San Pablo La Laguna, Santa Catarina Palopó y Panajachel) ubicadas en la ribera del Lago de Atitlán, en las cuales se realizó una entrevista individualizada con diversos actores claves durante el mes de junio de 2011.



## 4.4 Definición y operalización de las categorías

### 4.4.1 Categorías

CATEGORÍA	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	TIPO DE VARIABLE	ESCALA DE MEDICIÓN	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
Información disponible sobre la contaminación del Lago de Atitlán por cianobacterias.	Información disponible sobre la contaminación del Lago de Atitlán por cianobacterias se refiere a la exposición que los habitantes de la ribera Lago de Atitlán hacia la información que se había generado acerca del tema de las cianobacterias en el Lago de Atitlán.	Toda clase de informes y las fuentes que los generan, que tratan la presencia de cianobacterias en el Lago de Atitlán y los medios en que se generan.	Cualitativa	Nominal	Guía estructurada de preguntas abiertas, denominada CCCb-11
Causas de proliferación de las cianobacterias	Causas de proliferación de las cianobacterias se refiere a la interacción de factores, tanto como ambientales, culturales y socio-económicos que favorecen el crecimiento de cianobacterias en el Lago de Atitlán	Toda causa de proliferación de las cianobacterias que fue referida por las personas entrevistadas	Cualitativa	Nominal	Guía estructurada de preguntas abiertas, denominada CCCb-11
Usos del agua del Lago de Atitlán por parte de los pobladores	Usos de agua del Lago de Atitlán por parte de los pobladores se refiere a las actividades humanas que requieren del uso del agua del Lago	Todo uso de agua del Lago de Atitlán por parte de los pobladores que fue referido por las personas entrevistadas	Cualitativa	Nominal	Guía estructurada de preguntas abiertas, denominada CCCb-11

	de Atitlán para normal desarrollo dentro su contexto cultural y socio-económico				
Fuente del agua que llega a los domicilios de los pobladores de la ribera del Lago de Atitlán.	Fuente del agua que llega a los domicilios de pobladores de la ribera del Lago define las fuentes de donde es extraída el agua que alimenta la red pública de las comunidades de la ribera del Lago de Atitlán.	Toda fuente del agua domiciliar utilizada por los pobladores de la ribera del Lago.	Cualitativa	Nominal	Guía estructurada de preguntas abiertas, denominada CCCb-11
Métodos que los pobladores utilizan para la potabilización del agua extraída para el consumo humano	Métodos para la potabilización del agua para el consumo humano se define como los procedimientos empíricos o sistemáticos que los pobladores emplean para liberar el agua del Lago de Atitlán de contaminantes que potencialmente causen daño a la salud, y es usada para consumo, cocción de alimentos e higiene corporal.	Todo método que los pobladores utilizan para la potabilización del agua extraída para el consumo humano que fue referida por las personas entrevistadas.	Cualitativa	Nominal	Guía estructurada de preguntas abiertas, denominada CCCb-11
Conocimiento de las enfermedades asociadas a las cianobacterias.	Conocimiento de las enfermedades asociadas a las cianobacterias se define al grado de conocimiento que los pobladores	Todas las enfermedades causadas directa o indirectamente por las cianobacterias que fueron referidas por las	Cualitativa	Nominal	Guía estructurada de preguntas abiertas, denominada CCCb-11

	poseen sobre los problemas de salud asociados con a las cianobacterias.	personas entrevistadas.			
Programas de atención médica para abordar los riesgos potenciales a la salud humana por la contaminación del Lago de Atitlán por la cianobacteria	Programas de atención médica son el conjunto de procedimientos sistemáticos establecidos por el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social para la prevención, diagnóstico y resolución de las patologías asociadas a la contaminación del Lago de Atitlán por la cianobacteria	Toda clase de programa de atención médica para abordar los riesgos potenciales a la salud humana por la contaminación del Lago de Atitlán por la cianobacteria que fue referida por las personas entrevistadas	Cualitativa	Nominal	Guía estructurada de preguntas abiertas, denominada CCCb-11
Acciones comunitarias e institucionales que han sido implementadas para reducir la proliferación de la cianobacteria en el Lago de Atitlán	Acciones comunitarias e institucionales que reducen la proliferación de la cianobacteria se refieren al ejercicio de la facultad de realizar o instituir actitudes y prácticas ya sean empíricas o sistemáticas para reducir el impacto de la contaminación del lago de Atitlán por cianobacteria.	Toda acción comunitaria e institucional que ha sido implementada para reducir la proliferación de la cianobacteria en el Lago de Atitlán que fue referida por las personas entrevistadas	Cualitativa	Nominal	Guía estructuralizada de preguntas abiertas, denominada CCCb-11
Acciones no ha sido realizadas para reducir la contaminación del Lago de Atitlán por la	Acciones que no han sido realizadas para reducir la contaminación del Lago de Atitlán se refieren al ejercicio	Toda acción que no ha sido realizada para reducir la contaminación del Lago de Atitlán por la cianobacteria que	Cualitativa	Nominal	Guía estructurada de preguntas abiertas, denominada CCCb-11

cianobacteria	de la facultad de realizar o instituir actitudes y prácticas ya sean empíricas o sistemáticas que no se han llevado a cabo.	fue referida por las personas entrevistadas			
---------------	---	---	--	--	--

#### 4.5 Técnicas, procedimientos e instrumentos a utilizar en la recolección de datos

4.5.1 Técnica para la recolección de datos: Se procedió a realizar las entrevistas, las cuales fueron de preguntas abiertas. Fueron realizadas por medio de un entrevistador, con cada persona o en grupo, utilizando el instrumento denominado CCCb-11. El entrevistador expuso el instrumento a las personas que participaron en el estudio, en donde se grabaron las respuestas utilizando una grabadora, posterior a esto se digitalizó la información en un documento mediante un procesador de palabras, Microsoft Word.

##### 4.5.2 Procedimiento:

- a. Se contactó a los actores clave de las comunidades, en las reuniones facilitadas por organizaciones no gubernamentales y en las distintas dependencias institucionales ubicadas en cada municipio. Se procedió a la recolección de datos de la siguiente manera:

Se localizaron a los actores clave en sus domicilios y lugares de trabajo mediante referencias de vecinos y personeros de instituciones gubernamentales.

Se visitaron las distintas dependencias del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social tales como Área de Salud, Centros de Salud y Puestos de Salud.

Se visitaron las distintas dependencias del Ministerio de Educación tales como Supervisión Departamental, Institutos de Diversificado, Básicos y Escuelas Primarias.

- b. Se utilizó el instrumento estructurado denominado CCCb-11 por medio del cual se realizó una entrevista de preguntas abiertas de manera oral, por medio de un entrevistador de manera individual o grupal que evaluó el conocimiento de la contaminación del Lago de Atitlán por la cianobacteria.

#### 4.5.3 Instrumento: denominado CCCb-11 (Conocimiento de contaminación por cianobacteria de 2011) constó de nueve preguntas abiertas:

La primera pregunta inquirió la posesión de información que los pobladores de la ribera del Lago de Atitlán tenían sobre la cianobacteria las cuales pudieron ser originadas de medios informativos (radio, televisión, periódicos, internet, charlas, etc.).

La segunda pregunta exploró las causas de la proliferación de las cianobacterias, así como la interacción de factores ambientales, culturales y socio-económicos que habían favorecido la proliferación en el Lago de Atitlán.

La tercera pregunta se orientó a determinar los usos que los pobladores de las comunidades ubicadas en la ribera del Lago de Atitlán daban al agua que extraían del lago. Estos usos abarcaron el normal desarrollo dentro del contexto cultural y socio-económico de los mismos habitantes. Los usos del agua fueron los siguientes: consumo directo, cocción de alimentos, higiene corporal, irrigación agrícola (incluyendo jardines), consumo para animales domésticos, lavado de ropa, recreación y otros usos, referidos por los entrevistados.

La cuarta pregunta inquirió sobre la fuente del agua utilizada por los pobladores de la ribera del Lago para consumo humano que incluían aquellas actividades que ya fueron descritas en la anterior pregunta.

La quinta pregunta pretendía averiguar los métodos, ya sean sistemáticos o empíricos, que los pobladores utilizaron para la potabilización del agua extraída del Lago de Atitlán para ser liberada de contaminantes que potencialmente causaban daño a la salud, y que fue usada para consumo, cocción de alimentos e higiene corporal.

La sexta pregunta trató de determinar si los pobladores de la ribera de la Cuenca del Lago de Atitlán conocían algún problema de salud como resultado del consumo y/o contacto con agua del lago debido a contaminada por cianobacterias.

La séptima pregunta trató de determinar si existen programas que procedimientos sistemáticos establecidos por el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social para la prevención, diagnóstico y resolución de las patologías asociadas a la contaminación del Lago de Atitlán por la cianobacteria.

La octava pregunta especificó las acciones implementadas para reducir la proliferación de la cianobacteria. Estas acciones pudieron ser comunitarias o institucionales, cuyo objetivo era para reducir el impacto de la contaminación del lago de Atitlán por cianobacteria.

La novena y última pregunta tuvo una orientación que hacía mención de las acciones que aún no habían sido realizadas para reducir la contaminación del Lago de Atitlán. Estas actividades pudieron ser empíricas o sistemáticas, individuales o colectivas, realizadas por entes institucionalizados o no gubernamentales.

#### 4.6 Plan de procesamiento y análisis de datos

4.6.1 Procesamiento de datos: Con los datos que se obtuvieron del instrumento CCCb-11 se digitalizó en un documento mediante un procesador de palabras, Microsoft Word.

4.6.2 Análisis de datos: Con la información digitalizada en Microsoft Word se realizaron inferencias, generalizaciones e interpretaciones de manera analítica de las respuestas de cada pregunta contenida en el instrumento CCCb-11.

#### 4.7 Alcances y límites de la investigación

4.7.1 Alcances: Se pretendió por medio de este trabajo establecer la efectividad de las acciones implementadas para reducir la contaminación del lago por la cianobacteria y su comprensión por parte de los habitantes, así como modificar las estrategias que se están realizando para reducir su impacto, promover un cambio de actitudes y prácticas de los pobladores con respecto a su influencia en el medio ambiente.

4.7.2 Límites: Este estudio se enfocó únicamente en entrevistar a las personas que habitan la ribera del Lago de Atitlán. No realizaron análisis de laboratorio para examinar muestras del agua del Lago de Atitlán, ya que no es parte de los objetivos, además de necesitar recursos especializados (infraestructura, económicos y tiempo) para su realización.

#### 4.8 Aspectos éticos de la investigación

El presente es un estudio que utilizó técnicas observacionales, por lo que no se realizó ninguna intervención o modificación con las categorías de las personas que participarán en dicho estudio, por lo que la presente investigación es de Categoría 1.

## 5. RESULTADOS

Un total de 33 personas de diversos municipios de la ribera del Lago de Atitlán fueron entrevistadas durante el mes de junio de 2011. La procedencia de las 33 personas entrevistadas se distribuye de la siguiente manera: 6 personas de Panajachel, 7 personas de Santiago Atitlán, 2 personas de Santa Catarina Palopó, 2 personas de San Lucas Tolimán, 4 personas de Santa Cruz la Laguna, 3 personas de San Juan la Laguna, 2 personas de San Pablo la Laguna, 5 personas de San Marcos la Laguna, y 2 personas de San Pedro la Laguna.

Todas las personas eran consideradas como informantes claves ya que poseían algún papel en su comunidad como líderes comunitarios e institucionales y/o integrantes de cofradías, grupos culturales y religiosos, COCODES, COMUDES, Ministerio de Educación, MSPAS, ONG's, etc. La distribución de los entrevistados según la organización en que participan es lo siguiente: 10 personas de MSPAS, 3 personas de ONG's, 1 persona de grupos religiosos, 4 líderes comunitarios, 4 cofradías, 8 personas de Ministerio de Educación, un integrante de COMUDES y 2 integrantes de COCODES.

Figura 1  
Croquis del Lago de Atitlán que demuestra sus diferentes comunidades



Fuente: Secretaría General de Planificación. Plan estratégico territorial del Departamento de Sololá. Guatemala: SEGEPLAN; 2006



Tabla 1  
Procedencia de las personas entrevistadas según municipio, en el departamento de Sololá durante el mes de junio de 2011

<b>MUNICIPIO</b>	<b>Personas entrevistadas</b>	<b>Instituciones</b>
Panajachel	6	MSPAS 3, grupos religiosos 1, cofradía 1, líder comunitario 1
Santiago Atitlán	7	ONG 1, Ministerio Educación 2, MSPAS 2, COCODE 1, líder comunitario 1
Santa Catarina Palopó	2	líder comunitario 1, COMUDE 1
San Lucas Tolimán	2	COCODE 1, Cofradía 1
Santa Cruz la Laguna	4	MSPAS 2, líder comunitario 1, ONG 1
San Juan la Laguna	3	ONG 1, cofradía 2
San Pablo la Laguna	2	Ministerio Educación 1, MSPAS 1
San Marcos la Laguna	5	MSPAS 2, Ministerio Educación 3
San Pedro la Laguna	2	Ministerio Educación 2

Fuente: Datos obtenidos del instrumento CCCb-11

Tabla 2  
Resultados de la determinación de la clase de información que los entrevistados  
refirieron que había recibido sobre la cianobacteria en el Lago de Atitlán, en el  
departamento de Sololá durante el mes de junio de 2011

Medios de comunicación: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Radio</i></li> <li>• <i>Periódicos</i></li> <li>• <i>Televisión</i></li> <li>• <i>Comentarios de otros ciudadanos</i></li> <li>• <i>Literatura</i></li> </ul>
Por parte del Ministerio de Salud y Asistencia Social: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Charlas realizadas en Centros y Puestos de Salud</i></li> <li>• <i>Charlas realizadas a Comités de Salud</i></li> <li>• <i>Charlas realizadas por personeros de Saneamiento Ambiental de los Centros de Salud</i></li> </ul>
Por parte del Ministerio de Educación: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Coordinación de escuelas con instituciones gubernamentales y no gubernamentales</i></li> </ul>
Por parte de las autoridades municipales: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Con asesoría de instituciones gubernamentales y no gubernamentales</i></li> <li>• <i>Talleres, conferencias, congresos y seminarios no especificados</i></li> </ul>
Por parte de las autoridades departamentales: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Reuniones de CODEDE</i></li> </ul>
Otros: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Recolección de la información por iniciativa propia</i></li> </ul>

Fuente: Datos obtenidos del instrumento CCCb-11

Tabla 3  
Resultados de la determinación de las causas del crecimiento y multiplicación de la cianobacteria en el Lago de Atitlán según los entrevistados, en el departamento de Sololá durante el mes de junio de 2011

<p>Manejo inadecuado de desechos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Manejo inadecuado de desechos inorgánicos: <i>las mujeres dejan tiradas las bolsas de los detergentes después de lavar la ropa en la ribera del lago; cuando llueve y se forman corrientadas de agua de lluvia a través de la calles, algunos pobladores colocan sus desechos en esas corrientadas; no hay educación para desechar los desechos</i></li> <li>• Desechos no biodegradables: <i>duroport, botellas, plástico</i></li> <li>• Ausencia de tratamiento de aguas servidas: <i>drenajes que desembocan en el lago</i></li> </ul>
<p>Factores económicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Agricultura: <i>fósforo y potasio, fertilizante o abono químico; lavado de recipientes para pesticidas</i></li> <li>• Turismo: <i>restaurantes, hotelería</i></li> </ul>
<p>Factores socioculturales:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Demografía: <i>incremento de la población humana con el consiguiente aumento de desechos</i></li> <li>• Ausencia de planificación urbana: <i>pueblos descuidados en el aseo y limpieza</i></li> <li>• Indiferencia: <i>lástima que nosotros no colaboramos</i></li> <li>• Barreras lingüísticas: <i>idiomas locales dominantes (Tz'utujil, Kakch'íquel) subestimados en los cuales no se maneja el concepto de cianobacteria</i></li> <li>• Escasa presencia de la concepción de una cuenca hidrográfica como un sistema interrelacionado</li> </ul>
<p>Factores ambientales:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Intensificación de la época lluviosa: <i>tormentas tropicales (Stan, Agatha, etc.)</i></li> <li>• Cambios climáticos: <i>por el calentamiento global que se ha tenido</i></li> <li>• Lixiviación: <i>cuando llueve todo se va al lago</i></li> <li>• Dinámica topográfica: <i>deslaves, deforestación</i></li> </ul>

Fuente: Datos obtenidos del instrumento CCCb-11

Tabla 4  
Resultados de la determinación de los usos que los pobladores dan al agua de que proviene del Lago de Atitlán según los entrevistados, en el departamento de Sololá durante el mes de junio de 2011

<p>Usos generales:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Para todas las actividades en donde es necesaria el agua</i></li> <li>• <i>Para beneficio económico</i></li> <li>• <i>Uso en la casa</i></li> <li>• <i>Es una fuente de vida</i></li> <li>• <i>Para distribuir a la población como agua potable</i></li> </ul>
<p>Usos domésticos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Consumo humano</i></li> <li>• <i>Para tomar, para beber</i></li> <li>• <i>Para traer cuando no hay agua potable</i></li> <li>• <i>Para cocinar</i></li> <li>• <i>Para lavar los trastes</i></li> <li>• <i>Para bañarse</i></li> <li>• <i>Para higiene</i></li> <li>• <i>Para lavar la ropa</i></li> </ul>
<p>Usos recreacionales:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Para aprovechar su belleza y traer turismo</i></li> <li>• <i>Para ir a bañarse en la playa</i></li> <li>• <i>Para nadar</i></li> </ul>
<p>Actividades económicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Agricultura</i></li> <li>• <i>Riego de plantaciones</i></li> <li>• <i>Regar cultivos</i></li> <li>• <i>Para riego de hortalizas</i></li> <li>• <i>Para riego de cebollas</i></li> <li>• <i>Cultivo de tul (planta endémica del lago)</i></li> <li>• <i>Fumigación (limpieza de equipo, reservorio de envases)</i></li> <li>• <i>Fuente de recursos naturales:</i></li> <li>• <i>Alimentación: pesca, recolección de crustáceos y moluscos</i></li> <li>• <i>Recolección de tul</i></li> <li>• <i>Para venta de agua purificada</i></li> </ul>

Fuente: Datos obtenidos del instrumento CCCb-11

Tabla 5  
Resultados de la determinación del origen del agua que los pobladores de la ribera de la Cuenca del Lago de Atitlán utilizan para consumo humano según los entrevistados, en el departamento de Sololá durante el mes de junio de 2011

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comunidades que tienen al lago como principal fuente de abastecimiento de agua</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comunidades que tienen nacimientos y ríos como principal fuente de abastecimiento de agua, y, en donde el lago tiene poca participación como fuente de abastecimiento</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amenazas a la disponibilidad de agua en comunidades sin dependencia del lago como fuente de agua</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo de productos naturales derivados del Lago de Atitlán como otra forma de contacto con el agua</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los pobladores conocen las fuentes de agua que abastecen a sus comunidades</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua embotellada como otra fuente de consumo de agua</li> <li>• Agua del lago como materia prima de agua embotellada</li> </ul>

Fuente: Datos obtenidos del instrumento CCCb-11

Tabla 6  
Resultados de la determinación de los métodos que los pobladores utilizan para la potabilización de agua para el consumo humano según los entrevistados, en el departamento de Sololá durante el mes de junio de 2011

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cloración</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ebullición</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filtración: <i>ecofiltro, filtro oneil, q-beta (nombres comerciales de filtros domésticos)</i></li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exposición solar mediante envases transparentes (SODIS o Solar disinfection)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se realiza ningún proceso de potabilización</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se realiza ningún proceso pero consume agua embotellada</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Métodos preliminares, primarios, secundarios y terciarios (asesoría del MSPAS)</li> </ul>

Fuente: Datos obtenidos del instrumento CCCb-11

Tabla 7

Resultados de la determinación de las patologías relacionadas a la utilización de agua contaminada por la cianobacteriasegún los entrevistados, en el departamento de Sololá durante el mes de junio de 2011

<ul style="list-style-type: none"> <li>Los pobladores poseen un conocimiento general sobre las consecuencias a la salud por uso del agua no potabilizada, y poco conocimiento de patologías relacionadas con la cianobacteria</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Pobladores mencionan afecciones dermatológicas: <i>alergias, manchas en la piel, sarcptiosis, hongos, ronchas</i></li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Pobladores mencionan afecciones gastrointestinales: <i>parasitismo, diarrea, vómitos, empachos</i></li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Se hace mención de otros órganos que pueden ser afectados: <i>cerebro, hígado, riñón</i></li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Los pobladores afirman desconocer las patologías asociadas a las cianobacterias</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Los pobladores afirman no haber riesgos a la salud por el uso de agua contaminada por cianobacterias</li> </ul>

Fuente: Datos obtenidos del instrumento CCCb-11

Tabla 8

Resultados de la determinación de los programas que abordan los riesgos potenciales a la salud humana por la contaminación del Lago de Atitlán por la cianobacteria según los entrevistados, en el departamento de Sololá durante el mes de junio de 2011

<p>Pobladores mencionan los programas relacionados a la atención primaria del MSPAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Atención en los Centros de Salud y Puestos de Salud</li> <li>Medidas divulgadas: <i>desinfección del agua (cloración, ebullición, SODIS), evitar o reducir el contacto y consumo del agua del lago.</i></li> </ul>
<p>Medios de divulgación de la información por medios sociales:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Programas radiales</li> <li>Charlas</li> <li>Ambulatorio (megáfono)</li> </ul>
<p>Pobladores afirman que no existen programas enfocados en patologías causadas por la cianobacteria</p>

Fuente: Datos obtenidos del instrumento CCCb-11

Tabla 9

Resultados de la determinación de las acciones que se han implementado para reducir la proliferación de la cianobacteria en el lago de Atitlán según los entrevistados, en el departamento de Sololá durante el mes de junio de 2011

<p>Actividades realizadas directamente en el lago:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Jornadas de limpieza del lago,</i></li> <li>• <i>Sacan el "pashte"</i></li> <li>• <i>Sacan las algas</i></li> <li>• <i>Siembra de tul</i></li> <li>• <i>Siembra de ninfas</i></li> </ul>
<p>Actividades educativas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Reuniones, conferencias, pláticas, charlas de cómo intervenir con diversos grupos y líderes</i></li> <li>• <i>Charlas dirigidas a estudiantes de educación primaria, básica y diversificada</i></li> <li>• <i>Charlas dirigidas a mujeres para que no laven en el lago</i></li> <li>• <i>Charlas de porqué no bañarse en el lago</i></li> <li>• <i>Reuniones con padres de familias sobre cuidados del medio ambiente</i></li> <li>• <i>Perifoneos (publicidad por megáfono)</i></li> <li>• <i>Hacer mucha publicidad y compañías</i></li> <li>• <i>Divulgaciones para evitar consumo de agua</i></li> <li>• <i>Educación sobre uso de jabones y agroquímicos</i></li> <li>• <i>Enseñar la necesidad de no contaminar y evitar consumo de productos embolsados</i></li> </ul>
<p>Formación de grupos sociales:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Formación de Asociación Todos por Nuestro Lago</i></li> <li>• <i>Formación de grupos de mujeres</i></li> </ul>
<p>Manejo de aguas residuales:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Elaboración de una ley por Ministerio de Ambiente para obligar cada Municipalidad que de tratamiento a sus aguas residuales</i></li> <li>• <i>Uso de jardín botánico para tratar aguas grises</i></li> <li>• <i>Letrinización</i></li> <li>• <i>Implementación de ecobaños</i></li> <li>• <i>Uso de planta de tratamiento natural tipo Wetland</i></li> <li>• <i>Construcción de planta de tratamiento de aguas negras en Panajachel</i></li> <li>• <i>Construcción de fosa séptica domiciliar</i></li> <li>• <i>Construcción de pilas públicas en Santiago Atitlán</i></li> </ul>
<p>Manejo de desechos sólidos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Identificación y erradicación de algunos basureros clandestinos</i></li> <li>• <i>Programas municipales para manejo de desechos; solicitud de camiones para servicio social de recolección de desechos sólidos</i></li> <li>• <i>Colocación de depósitos de basura en lugares públicos</i></li> <li>• <i>Clasificar basura como orgánica e inorgánica</i></li> <li>• <i>Reciclaje</i></li> </ul>
<p>Tratamiento de agua para el consumo humano:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Donación de filtros domésticos</i></li> <li>• <i>Elaboración de una ley para obligar cada Municipalidad que proporcione agua potable</i></li> </ul>

<p>Acciones que reducen la erosión:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Reforestación; siembra de 45,000 árboles San Lucas Tolimán</i></li> <li>• <i>Construcción de barreras vivas</i></li> </ul>
<p>Otras acciones y actitudes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>El pueblo se hizo “dueños antes de la situación del lago”</i></li> <li>• <i>Sacerdotes mayas han pedido protección del lago</i></li> <li>• <i>Recolección de información para diagnóstico del problema</i></li> <li>• <i>Realización del Plan de Trabajo del 2012 al 2021 por parte de la Municipalidad de Santiago Atitlán</i></li> </ul>

Fuente: Datos obtenidos del instrumento CCCb-11

Tabla 10

Resultados de la determinación de las organizaciones gubernativas y no gubernativas que se han trabajado para reducir la proliferación de la cianobacteria en el lago de Atitlán según los entrevistados, en el departamento de Sololá durante el mes de junio de 2011

<p>Municipalidades:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Municipalidad de Panajachel</i></li> <li>• <i>Municipalidad de Santiago Atitlán</i></li> <li>• <i>Municipalidad de San Lucas Tolimán</i></li> <li>• <i>Municipalidad de Santa Cruz la Laguna</i></li> <li>• <i>Municipalidad de San Juan la Laguna</i></li> <li>• <i>Municipalidad de San Pablo la Laguna</i></li> <li>• <i>Municipalidad de San Marcos la Laguna</i></li> <li>• <i>Municipalidad de Santa Catarina Palopó</i></li> </ul>
<p>COMUDES:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>COMUDE de Panajachel</i></li> </ul>
<p>COCODES:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>COCODES de San Lucas Tolimán</i></li> <li>• <i>COCODES de Santiago Atitlán</i></li> </ul>
<p>MSPAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Área de Salud de Sololá</i></li> <li>• <i>CAP de Santiago Atitlán</i></li> <li>• <i>Centro de Salud de San Pablo la Laguna</i></li> <li>• <i>Puesto de Salud de Santa Cruz la Laguna</i></li> <li>• <i>Puesto de Salud de San Marcos la Laguna</i></li> </ul>
<p>Ministerio de Educación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Escuelas primarias, básicas y diversificadas</i></li> <li>• <i>Centro Educativo Parroquial Santiago Atitlán</i></li> <li>• <i>Escuela Oficial Urbana Mixta Vespertina, San Pedro la Laguna</i></li> <li>• <i>Escuela Oficial Urbana Mixta Jornada Matutina San Pablo la Laguna</i></li> <li>• <i>Instituto Mixto por Cooperativa San Marcos la Laguna</i></li> <li>• <i>Escuela Oficial Mixta No. 1 “Mateo Herrera” Santiago Atitlán</i></li> </ul>



<p>Comités locales:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Comisión de Salud en Panajachel</i></li> <li>• <i>Comité de Salud de Santiago Atitlán</i></li> </ul>
<p>Otras instituciones gubernamentales</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>AMSCLAE</i></li> <li>• <i>Ministerio de Medio Ambiente</i></li> <li>• <i>SOSEP</i></li> </ul>
<p>No gubernamentales:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Manclalaguna</i></li> <li>• <i>Todos por Nuestro Lago</i></li> <li>• <i>PROISTA</i></li> <li>• <i>Africa 70</i></li> <li>• <i>Amigos de Santa Cruz</i></li> <li>• <i>Comité Santa Cruz por el Lago</i></li> <li>• <i>Cuidadores del Lago de San Juan la Laguna</i></li> <li>• <i>FEDETNA</i></li> <li>• <i>Las iglesias de San Juan la Laguna</i></li> <li>• <i>Club de Rotarios en San Lucas Tolimán</i></li> <li>• <i>Club Rotario Milagros en Acción</i></li> <li>• <i>Vivamos Mejor de Panajachel</i></li> <li>• <i>Vivamos Mejor de Santiago Atitlán</i></li> <li>• <i>PROLAGO</i></li> <li>• <i>Pura Vida</i></li> <li>• <i>Hoteles</i></li> </ul>

Fuente: Datos obtenidos del instrumento CCCb-11

Tabla 11

Resultados de la determinación de las acciones que faltan para ser implementadas para reducir la proliferación de la cianobacteria en el lago de Atitlán según los entrevistados, en el departamento de Sololá durante el mes de junio de 2011

<p>Actividades educativas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Crear programas en las escuelas; charlas y capacitaciones a los alumnos de nivel básico y medio</i></li> <li>• <i>Compañías educativas sobre el uso del agua</i></li> <li>• <i>Educación a cada familia que involucra los padres e hijos</i></li> <li>• <i>Más publicidad</i></li> <li>• <i>Políticas de sensibilización de la población</i></li> <li>• <i>Charlas en Tz'utujil y otros idiomas presentes en la cuenca del lago</i></li> <li>• <i>Educación y concientización a toda la población</i></li> <li>• <i>Enseñanza a los niños desde su casa que deben depositar la basura en su lugar</i></li> <li>• <i>Proporcionar más información a la gente por medio de la televisión</i></li> <li>• <i>Pláticas en la radio por parte de los Directores de los Centros de Salud, Alcaldes y Directores de escuelas</i></li> </ul>
<p>Cambios de conductas actuales:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Uso de canastas y servilletas para evitar el uso de bolsas plásticas</i></li> <li>• <i>Cuidar el uso de abonos</i></li> <li>• <i>Reemplazo de detergentes contaminantes por detergentes biodegradables</i></li> <li>• <i>Reemplazo de abonos químicos con abonos orgánicos</i></li> <li>• <i>Tomar en práctica lo que nos enseñen</i></li> </ul>
<p>Formación de legislación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Implementación de sanciones; sancionar las Municipalidades que contaminen el lago</i></li> <li>• <i>Aplicar legislación sobre el ambiente y luego una fiscalización</i></li> <li>• <i>Una ley para evitar que laven en el lago</i></li> <li>• <i>Involucrar más la Municipalidad</i></li> </ul>
<p>Manejo de desechos sólidos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Programas de reciclaje</i></li> <li>• <i>Clasificación de basura</i></li> <li>• <i>Que la gente no tire su basura en cualquier lado</i></li> <li>• <i>Compañías de limpieza</i></li> </ul>
<p>Manejo de aguas residuales:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Buscar fondos para ecobaños</i></li> <li>• <i>Que terminen la planta de tratamiento de aguas negras</i></li> <li>• <i>Plantas de tratamiento de aguas negras en cada comunidad</i></li> <li>• <i>Evitar que los drenajes se vacíen en el lago; uso adecuado de drenajes</i></li> </ul>
<p>Actividades realizadas directamente en el lago:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Limpieza del lago</i></li> <li>• <i>Uso de aparatos que se colocan en el lago para eliminar la cianobacteria</i></li> <li>• <i>Uso de tratamiento (de sustancias químicas) al agua del lago</i></li> </ul>

<p>Coordinaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Coordinación entre todos los municipios</i></li> <li>• <i>Coordinación entre los Alcaldes y los inspectores de salud</i></li> <li>• <i>Unificación de INAGUA, CONAP y AMSCLAE</i></li> <li>• <i>Que las Municipalidades apoyen las actividades de otros grupos comunitarios y tomen en cuenta los líderes comunitarios</i></li> <li>• <i>Involucrar las personas en el rescate del medio ambiente</i></li> </ul>
<p>Acciones para evitar la erosión:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Siembra de árboles; enseñar al campesino que siembre árboles en vez de cortarlos</i></li> </ul>
<p>Acciones del gobierno central:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Que el gobierno limpie el lago</i></li> <li>• <i>Que el gobierno dé asesoría y financiamiento a las Municipalidades</i></li> <li>• <i>Que el gobierno tome mayor importancia a esta situación</i></li> <li>• <i>Que el Ministerio de Salud tenga asistencia técnica</i></li> </ul>
<p>Otras acciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Involucrar a grupos religiosos; rogar de Dios</i></li> </ul>

Fuente: Datos obtenidos del instrumento CCCb-11

## 6. DISCUSIÓN

### **Determinación de información recibido por los pobladores sobre la contaminación del Lago de Atitlán por la cianobacteria:**

Todos los informantes menos uno (32 de 33) refirieron que habían recibido información sobre la contaminación del Lago de Atitlán por la cianobacteria de diferentes fuentes. De los informantes, 13 refirieron que poseen información sobre la cianobacteria pero la información que poseen es insuficiente y deseen recibir más información sobre este problema. Los últimos 19 informantes refirieron que poseen información sobre la cianobacteria y no expresaron ninguna inquietud para recibir más información.

Una fuente de información que era muy importante era por los medios de comunicación, especialmente como información por las emisiones de las radios locales tanto como por la televisión y los periódicos:

- *Lo he tenido, lo he escuchado por los medios de comunicación...*
- *... Me he informado por los periódicos, y los comentarios que hacen los cuates.*
- *Simplemente, escuchamos por medios de comunicación, en la tele, en la radio.*
- *Hemos escuchado por la radio, hemos visto a través la televisión, hemos leído a través los periódicos, pero hasta ahí.*

Varios informantes refirieron que la información que había recibido sobre la cianobacteria provino del MSPAS; específicamente diferentes médicos de los Centros de Salud han hecho charlas dirigidas al personal de salud, como otras personas de la comunidad. Además ha habido charlas y capacitaciones para el personal de Saneamiento Ambiental que se encuentran trabajando dentro MSPAS:

- *...en ese entonces trabajaba en el Centro de Salud de San Lucas (Toliman), el Dr. Jacinto les comentó el origen y significado del término cianobacteria...*
- *En el Centro de Salud el doctor (Director del Distrito), estuvimos hablando con la gente, estuvimos limpiando el lago colaborando con la gente y para hablar con los niños que no se metieran en el lago porque cuando la gente el año pasado se iban, más los niños que después le salían ronchitas en la piel.*

Las autoridades municipales y departamentales han tenido un importante papel en la divulgación de información sobre la cianobacteria ya que en diversos municipios han realizado reuniones, conferencias, talleres, congresos, seminarios, tanto como han mantenido comunicación directa con varios informantes:

- *Como coordinador de la comisión de salud (municipio de Santa Catarina Palopó) nos han dado charlas y participado en seminarios y congresos para prevenir eso, para orientar la gente y darlo en conocer por medio de talleres que hay que cuidar las basuras ...*
- *Yo he estado en algunas conferencias...*
- *Nosotros trabajamos en una oficina de recurso natural y medio ambiente en la Municipalidad de San Lucas. Hemos tenido algunas conferencias. Con la doctora estadounidense, Margaret Dix, hubo una conferencia acá en San Lucas, y ha habido otras conferencias, fuera de San Lucas Tolimán.*
- *Hemos recibido (información) por parte de una organización formada por la Municipalidad*
- *Tenemos contacto con las municipalidades para ver qué programas se pueden realizar con ellos y ahora estamos en constante comunicación.*

Hubo un acontecimiento interesante, donde una actividad fue realizada en coordinación del Instituto Mixto de San Marcos la Laguna con la Universidad del Valle de Guatemala, Cuerpo de Paz y una institución conocida como Atitlán. Esta actividad fue dirigida a los maestros y estudiantes. Por medio de microscopios, los participantes fueron enseñados la cianobacteria que proviene del Lago de Atitlán, y para reforzar este conocimiento, les fueron explicadas todas las posibles causas de la proliferación de la cianobacteria:

- *Tuvimos varias informaciones de parte de ellos pero en sí hubo una institución que es de San Juan La Laguna que me acuerdo bien ahora se llama Atitlán, que trabajó con el Cuerpo de Paz y la Universidad del Valle de Guatemala y para ver qué tiempo de vida tiene la cianobacteria y además demostrar en un microscopio delante todos los niños, se hizo una actividad para toda la comunidad que todos tenía que ir a ver cuál es el proceso de cómo que nuestro bello lago se está contaminando. Entonces sí pasaron por (platicaron sobre) deslaves, por los químicos, después llegó a enseñar la basura que nosotros tiramos por las calles y cuál eran los efectos de todo este proceso por nuestro actos pues de contaminar mayormente. Entonces los niños se dieron cuenta por varias maquetas que hicieron entonces fuimos a ver y sí presentaron ellos una muestra de cómo es la cianobacteria. Entonces es algo que nos explicaron.*

Otro acontecimiento importante era una reunión de CODEDE con participación de la esposa del presidente para discutir el problema de la cianobacteria:

- *...antes tuvimos una reunión de CODEDE con la señora gobernadora y otros representantes...*

Diferentes ONG's también han participado en la divulgación de información de la cianobacteria por medio de charlas:

- *...Hoy precisamente estuve en una reunión con una organización llamada Africa 70 y juntamente con la asociación de tuleros...*
- *Hemos participado en talleres que había programado anteriormente "Todos Juntos por el Lago" y se ha realizado análisis de la Universidad del Valle de Guatemala*
- *...Hemos recibido información de la cianobacteria en grupos, charlas, grupos de ONG's...*
- *El presidente... de la asociación de IJATS... Ahí nos han guiado y cuidado e informado sobre la cianobacteria...*

Algunas instituciones han transmitido información audiovisual sobre el problema de la cianobacteria:

- *...Una cosa nada más porque, aparecieron dos señores traídos por los señores del CONRED, vinieron con videos para que la gente de todos los municipios los vean.*

Por último, algunos informantes han tenido la inquietud de informarse sobre este tema, motivados principalmente por ser directamente afectados:

- *Por talleres, literatura e investigación propia. La cianobacteria es una enfermedad que, es un microbio, que hace que el lago esté contaminado.*
- *...como asociación nos hemos informado poco a poco, pero ¿cómo no? Vivimos aquí en el problema y experimentamos el problema todos los días.*

### **Determinación de las causas de la proliferación de la cianobacteria en el Lago de Atitlán:**

De los factores mencionados en el crecimiento y multiplicación de la cianobacteria en el lago de Atitlán, los entrevistados mencionaron los nutrientes propios para la cianobacteria los cuales son utilizados en diversos productos especialmente agroquímicos y fumigación (pesticidas, herbicidas, fungicidas) productos de limpieza los cuales tiene en sus componentes o fórmulas al fósforo y nitrógeno, que son

necesarios en el metabolismo cianobacteriano:

- *El alimento puro de la cianobacteria es el fósforo y potasio que los alimenta y por medio de eso se reproducen rápidamente pero también nos comentaban que además del fósforo y potasio también por los químicos...*
- *Donde más yo he visto por ejemplo en los cultivos de milpa y de café y que por la cuestión del químico y el fertilizante alimenta porque contiene fósforo y potasio...*
- *En Santiago Atitlán y Santa Catarina se ve que las mujeres lavan ropa con cloro y jabon dentro del lago. Todo esto sirve a la propogación de la cianobacteria*
- *La mochila donde llevan el veneno(fungicidas, pesticidas o herbicidas), lo que hacen es meterlo al agua, lo lavan y lo echan en el lago y lo otro es que cuando ya se terminó el químico, el recipiente que contiene este químico cuando ya está vacío lo tiran al lago*

Algunas de las personas entrevistadas mencionan el aumento de la población y su impacto en el ecosistema circundante, por tanto, es posible la existencia de concepto de la Cuenca del Lago de Atitlán como un sistema:

- *En años anteriores la misma población era pequeña en años anteriores y las personas eran más responsables tal vez por la misma cultura que viene predominando, pero que mientras ahora nosotros crecimos en número en este municipio, no solo en este municipio es el que está en la cuenca del lago sino hay otros que llevan el nombre de los doce apóstoles, conforme vamos creciendo en número en todos los municipios, también la cantidad de basura que genera cada familia va creciendo...*
- *Supuestamente por la contaminación del agua de los pueblos que están en las orillas no cuidan nuestro lago porque ellos tiran lo que es agua sucia en San Juan, en San Pedro no. Los que tiran el agua son San Pablo, San Marcos y más en Panajachel, ahí es donde más...*
- *La población ha crecido mucho en los todos los alrededores..... todo esto lleva al descuido del aseo, de la limpieza...*

Diversas actividades humanas, participan en la descarga de nutrientes hacia el lago mediante diferentes mecanismos:

- *... Las lanchas también, cada rato pasan, pero dejan la basura en el lago, porque tienen su tanque donde mantienen su gasolina...*
- *...Si observamos dentro del Lago de Atitlán aparecen botes, montón de basura ahí que dejan*

*tirado las personas, especialmente los lancheros y toda la basura que viene de otro lado como Panajachel...*

- *... El uso de pesticidas que usan los agricultores. No creo que ellos tienen ese deseo de contaminar, pero el problema es que como no tienen información ni asesoría para el buen manejo de estos químicos...*

Actividades económicas relacionadas con el turismo también han sido mencionadas como parte del problema de la contaminación del lago:

- *...restaurantes y hoteles están poniendo aguas gris sino que están poniendo ya aguas de drenajes entonces de esa razón el lago ya no aguantó...*
- *... no sé hasta qué punto hay lugares para comidas, de las ventas ambulantes que hace que genere mayor desecho...*
- *... hablamos de los hoteles como el Hotel del Lago que es el más antiguo, el Hotel Tzanjuyú, cómo está estructurado el pozo que usan, tanta gente que llegan no será que tienen tubería que baja dentro del lago...*

La geografía topográfica accidentada favorece la erosión, agravada por la deforestación y es más frecuente en la época lluviosa, provocando un fenómeno denominado lixiviación (arrastre de sustancias químicas depositadas en el suelo) y que desembocan en el lago:

- *...la cuenca, eso abarca Sololá, Los Encuentros (partes altas de la cuenca), hay mucha actividad agrícola por todo lo que son pesticidas en una erosión viene todo y llega hacia el lago...*
- *...en los lugares donde estamos son tipo montaña y por lo tanto cuando llueve directamente todo lo que es restos de químicos va directamente al lago...*
- *...cuando empieza a llover todos los desechos de la parte alta vienen desembocando en el lago, en cuanto a cultivos, acá es a menor escala, más cultivan café, no utilizan muchos fertilizantes...*
- *... cuando está lloviendo fuerte todo eso va para el lago, prueba de eso durante el invierno, cuando llueve fuerte, queda tapizado el lago de tanto plástico...*



Se mencionan factores asociados a la descarga aguas servidas que además son fuente de nutrientes que favorecen la eutrofización de un cuerpo de agua, se debe enfatizar que, en algún grado, todas las comunidades ubicadas en la ribera del lago tienen al mismo como destino final de aguas servidas, sin embargo existen lugares en donde esta descarga es evidente, detalle mencionado en los comentarios siguientes:

- *...y esto he visto, las aguas negras que dan en la orilla del lago. Hay un buen ejemplo en Panajachel. Ahí se ve claramente que las aguas negras llegan directamente al Lago de Atitlán...*
- *...por ejemplo los desperdicios, todas las aguas negras que se está echando en Panajachel. Esto puede ser uno de los contaminantes más fuertes que tiene el Lago de Atitlán. Si usted podría ver son miles y miles de litros de agua que se echa por hora. En este municipio se ve los que se lavan la ropa en el lago y por los químicos que tienen los detergentes...*
- *...son las aguas grises, residuales que no tienen tratamiento y entran directamente al lago, precisamente nosotros sacamos muestras de agua para ver cuántos fosfatos y nitratos entra al lago y sí, se controló gran cantidad igual con los coliformes y heces fecales...*
- *... la falta de control de la basura porque mucha de la basura llega al lago y también por ejemplo los químicos y abono que se está utilizando alrededor del lago. Cuando llueve muchas veces estas sustancias son arrastradas al lago, y esto hace que la cianobacteria se reproduzca...*
- *...eso viene creciendo porque hay muchas cosas, como ríos negros que bajan al lago y naturalmente cuando esto sucede el lago explota eso...*

Los pobladores mencionan que además existen otras poblaciones ubicadas en las partes altas de la cuenca, cuya responsabilidad en el problema de la contaminación es importante:

- *...río negro que baja de Sololá para el lago todo mundo lo ha visto, de dónde sale este río, con unos amigos médicos que han trabajado en el Hospital de Sololá me dicen que hay una construcción del Hospital a ese río, tenemos conocimiento de que hay infección del río al lago...*
- *...aquí por el estado topográfico no es mucha la agricultura por lo tanto una menor parte de las personas usan fertilizantes, pero la cuenca, eso abarca Sololá, Los Encuentros, hay mucha actividad agrícola por todo lo que son pesticidas en una erosión viene todo y llega hacia el lago...*

- *...yo pienso que a nuestro lago le entran dos ríos, el Río Quiscap y el Río San Francisco. A ellos (poblaciones de la parte alta de la cuenca) le echamos la culpa que ellos han traído de la suciedad. El Quiscap era enorme el río y lastimosamente no cuidaron el área...*

La Cuenca del Lago de Atitlán tiene factores que son independientes del impacto del ser humano, que favorecen la eutrofización del lago; se mencionan factores ambientales:

- *...entonces que también nos informaron es por el calor, cuando hay calor, la cianobacteria crece y sale sobre el agua. Entonces cuando hay frío se quedan (la cianobacteria) debajo y no salen...*
- *...ha afectado al lago porque estamos viviendo el cambio climático que estamos viviendo...*
- *... pienso que ha de haber muchas causas, principalmente por la lluvia y la tormenta que azotó el país, creo que llevó mucha contaminación, cosas que arrastró desde el volcán y los llevó al lago...*
- *... cuando comenzó el Stan entonces allí ya no recobró la vida así como estaba anteriormente entonces allí fue cuando empezó todo la gente no se dio cuenta...*

Otros hallazgos comentados son productos resultados de actividades humanas, los desechos, los cuales no tienen un manejo adecuado, cuyo paradero final resultan ser calles o vertederos clandestinos o municipales de una comunidad, cuyos líquidos derivados, puede seguir dos caminos, o penetran el suelo hacia los mantos freáticos, o son arrastrados por la lluvia cuesta abajo, hacia el lago (lixiviación):

- *...una de las causas sería la planta de tratamiento que no está bien y aun así está en funcionamiento, y esas aguas caen al lago, que son aguas grises que no tienen ningún tratamiento, también la basura, que el botadero municipal está cerca del lago ...*
- *... también cuando llueve aquí en (Santiago) Atitlán todas las corrientes llegan al lago y también la basura que contribuye a eso...*
- *...en el caso de los basureros clandestinos son exageradamente grandes a pesar de que el municipio es pequeño, se tienen calculados treinta y seis basureros clandestinos, de los cuales hemos podido con la Municipalidad erradicar seis, es proceso lento que se da ahí por la costumbre que genera...*

O actitudes culturales, cuando algunos pobladores durante las lluvias aprovechan para verter desechos sólidos o líquidos para ser arrastrados al lago, lo que refleja la falta de conciencia ambiental:

- *... no estamos diciendo que (todos) los turistas vienen afectando, algunos, que vemos que cuando van en lanchas, vienen, comen algo y lo primero que hacen es que lo tiran al lago,...*
- *...Hay mucha gente que dejan sus cositas en la orilla de lago, o hasta dejan la basura en el lago... ...para empezar, serían las costumbres de las personas, la falta de educación en el tema del ambiente... no tienen una conciencia ambiental de prevenir en el futuro lo que se va haciendo, a pesar de que hemos dado constantemente charlas educativas sobre el medio ambiente...*
- *... mucha gente tira su basura a la calles cuando está lloviendo para que el agua la lleva, y eso no es bueno porque lleva toda la suciedad para el lago. También la gente su ropa y el jabón va (a lavarlos) al río...*
- *... también hay gente que desvacean (vacían) sus fosas (sépticas) cuando está lloviendo, y lo que hacen es contaminación pues. Las fosas son donde va la suciedad (desechos fisiológicos)...*

Es de observar que algunos pobladores tienen conciencia de la responsabilidad de sus comunidades como un colectivo en el problema de la contaminación del lago:

- *...Yo pienso que viene por el descontrol de nosotros mismos como por ejemplo de echar basura al lago, por toda la gente que lava en el lago, por todas las gasolinas que echa la lancha, el humo y todo eso...*
- *...nosotros las personas no sabemos cuidar el lago, porque toda la basura que generamos termina en el lago. La gente no tiene conciencia que cuando llueve todo la basura va al lago. Y somos nosotros los culpables que vivimos en la orilla del Lago de Atitlán...*
- *... como le digo que la población de antes era más consciente, incluso si vamos un poco a la historia de antes, los ancianos, antes de entrar al lago, porque la mayoría cruzaba el lago para trabajar en sus siembras, lo primero que hacían antes de cruzar el lago tomaban un poco de esa agua y la besaban, como que le pedían permiso (para cruzarlo), era una creencia, una costumbre que habíamos mantenido pero ahora no hay respeto al lago, nada de permiso al lago, echamos todo (desechos), tal vez por eso se ha originado todo eso ...*
- *... lamentablemente sale porque nosotros lo alimentamos con todo lo que es químico de los abonos químicos que se utilizan en las montañas, debajo los catarrales, en las milpas.*
- *...esta cianobacteria está por el descuido que tenemos, por la contaminación que hemos hecho, las cosas que hemos utilizado como plásticos, nylon, y otras cosas, podemos culpar varias cosas, pero ¿por qué? ...tal vez estamos un poco exagerados de consumir las cosas*

*artificiales y químicas como el abono...*

Algunas poblaciones, por varias razones, no tienen drenajes, pero sí está generalizado el uso de fosas sépticas, las cuales a criterio de los pobladores no representan una amenaza directa al lago, y puede que sea posible, pero es importante observar que son una potencial amenaza para los mantos freáticos dependiendo de la permeabilidad del suelo y el tipo de mantenimiento que se les realiza entre otros aspectos...

- *...aquí en San Marcos y San Pablo tienen fosas sépticas...*
- *...En San Pedro (la Laguna) tienen fosas sépticas, San Juan (la Laguna) también. San Marcos (la Laguna) tiene fosas sépticas....*
- *... aquí no hay un centro de tratamiento de aguas residuales, los pozos sépticos tienen filtraciones y la mayoría de la gente usa los desagües y no sólo en este municipio, sucede en casi todos los municipios de la Cuenca del Lago...*

El problema de la contaminación del lago por la cianobacteria es un tema nuevo para los pobladores, además de que al momento de proliferación abarcó grandes porciones del lago, tuvo un gran impacto, especialmente en los pobladores de su ribera:

- *...nuestros antepasados nunca mencionaron una contaminación, nunca mencionaron abonos químicos, pero ahora están apareciendo cosas muy raras...*

Aunque, otros pobladores, probablemente más informados mencionan la presencia endémica de la cianobacteria en el lago, cuya proliferación ha sido favorecida:

- *... la cianobacteria ya ha existido desde antes ... ha florecido desde hace tres años por los desagües que ha bajado hacia el lago, principalmente Panajachel, Santa Cruz y otros pueblos que tienen drenaje, las que más nutren a la cianobacteria además de las aguas negras ...*

### **Los usos que los pobladores dan al agua del Lago de Atitlán:**

Los entrevistados refirieron los usos que los pobladores dan al agua que proviene del Lago de Atitlán. Algunas respuestas eran muy ambiguas, refiriendo que es para uso general. Estas respuestas dadas son importantes porque transmiten la idea de la gran

importancia que tiene esta agua para la vida cotidiana de los pobladores de la ribera del Lago de Atitlán:

- *Toda la gente acá usa el agua del lago para todas las actividades en donde es necesaria el agua...*
- *El lago es una fuente de vida...*
- *...lo usamos para uso en la casa...*
- *...se le daba un consumo general...*
- *El lago usamos en el chorro y para todo sirve...*

De las 33 personas entrevistadas, 24 refirieron que el agua se usa para el consumo humano en alguna comunidad de la ribera Lago de Atitlán en algún momento. Algunas personas dijeron directamente que esta agua es para el consumo humano, mientras otras describieron que esta agua es para tomar, para beber, para cocinar, para lavar los trastes, etc:

- *Los usos que le dan al agua del lago es para el consumo humano, aquí, el agua que llega a las casas es del lago un 95.6%...*
- *Le puedo decir bien que el 90% de la población consumen agua del lago para tomar, para bañarse, para lavar trastes, para lavar ropa también, para cocinar...*

Algunas personas describieron que el agua potable en su comunidad no cuenta con el agua que proviene del Lago de Atitlán, sin embargo, en los momentos que la red para distribuir agua a los domicilios no esté funcionando, los pobladores tienen que ir a traer agua del lago para su consumo:

- *...Para consumo no lo usamos (el agua del lago), tenemos una red de agua potable pero en algún momento lo tenemos que usar pero es inconveniente. En caso de Agatha, se rompieron las tuberías no hay agua potable y la gente tuvo que beber de esa agua, clorando sí.*
- *...porque la vez pasada hubo bastantes tormentas por ejemplo Agatha trajo el tubo con derrumbe trajo la tubería y tuvimos que traer el agua del lago por al menos una semana...*

Otros informantes refirieron que el agua que se usa para distribuir a los domicilios como agua potable es extraída del lago por medio de bombas:

- *...Tiene otras fuentes de agua (en San Pedro la Laguna) pero no es suficiente para abastecer al pueblo, entonces ellos tienen que ver como bombear el agua del lago para poder satisfacer las necesidades que haya...*
- *Tenemos una pequeña fuente pero no pertenece a San Pablo pero a San Marcos de la Laguna. Entonces el agua que consumimos es una combinación, pero tal vez un 80% se toma directamente del Lago de Atitlán...*
- *Actualmente, tengo por entendido que Panajachel está jalando agua del agua para distribuir a la población para el consumo humano...*

De los usos externos que se dan al agua que proviene del Lago de Atitlán, varios informantes reconocieron que esta agua se usa para la higiene personal, para bañarse y para lavar la ropa:

- *...personas que llegan a lavar la ropa, las personas que llegan a bañarse allí...*
- *...para bañarse, para lavar trastes, para lavar ropa también...*
- *Más es en lavar y bañarse... cosas de la higiene...*

Otro uso para el agua que proviene del lago de Atitlán es la generación de economía para los pobladores. La manera que esta agua contribuye en la economía varía siendo una fuente de prácticas agrícolas y pesca tanto como el turismo y artesanía:

- *...el lago nos trae tanto beneficio porque hay unos que pescan, los cangrejeros y el tular para hacer petate lo hacen, es una gran oportunidad que Dios no ha dado para beneficio económico de nuestros familiares.*

La agricultura en las comunidades de la ribera del Lago de Atitlán ha sido dependiente de su agua. De diferentes formas los informantes refirieron que esta agua sirve para continuar con sus prácticas agrícolas, especialmente con la irrigación de sus diversos cultivos en la orilla del lago. También, el lago ha servido para la siembra de tul, produciendo materia prima para los artesanos locales que se dedica a la elaboración de petates:

- *...para regar cultivos, se utiliza también para fumigar, en las fumigaciones, p.e. milpa y verduras, pero generalmente es milpa y tomate que está sembrado en las orillas del Lago.*
- *El uso es para riego de hortalizas, para riego de cebollas...*
- *...los chaleteros (personas que tiene casas de campo a orillas del lago) usan el agua para regar sus fincas...*
- *...el tular para hacer petate lo hacen...*

De gran manera, el agua del Lago de Atitlán ha servido para proporcionar alimentos, siendo una fuente de pescados, cangrejos y caracoles. Estos provechos son alimentos para los pobladores tanto como una fuente de ingresos ya que los pescadores pueden vender el pescado en el mercado local:

- *...los pesqueros que obtienen cangrejos y pescado...*
- *Nos proporciona alimentos, peces, cangrejos, caracoles...*
- *Hay algunas personas que son pescadores, lo cual les ayuda para generar un ingreso.*

Por último, el Lago de Atitlán tiene sus usos recreacionales siendo una atracción turística importante en Guatemala. Un entrevistado hizo énfasis en el atractivo visual que tiene el lago como un importante uso. De esta forma el agua atrae turistas nacionales tanto como internacionales quienes llegan a visitar el lago, gastando grandes cantidades de dinero en las comunidades de la ribera en hoteles, restaurantes, cruzadas, etc. El Lago de Atitlán tiene muchas playas bellas para que los pobladores tanto como los turistas puedan ir a bañarse y/o nadar:

- *El uso que tenemos que dar al lago es de aprovechar su belleza y traer el turismo nacional e internacional y eso nos trae empleo para aprovechar económicamente.*
- *La fuente de ingresos aquí en Atitlán es el turismo y cuando se afectó por la cianobacteria no hubo ingreso de turismo y eso fue una de las partes del uso...*
- *Sé que la gente va a bañarse, que es una de las cosas que oigo de los muchachos que van a bañarse a la playa pública*
- *Muchos nos acostumbramos ir al lago para bañarnos.*

- ... Llegan gente a veces de lejos a la playa y se meten a nadar.

### **Determinación del origen del agua que consumen los pobladores de la ribera del Lago de Atitlán:**

Acerca del conocimiento de las fuentes de agua con la cual se abastecen los pobladores, nos damos cuenta que casi todos los pueblos, en algún grado tienen al Lago de Atitlán como fuente de abastecimiento de agua:

- *En todos lados utilizan el agua del Lago para consumir pero más en San Pedro.*

En los cascos urbanos de los municipios como de Santiago Atitlán, San Lucas Tolimán, San Pedro la Laguna y San Pablo la Laguna tienen al lago como única, si no, la principal fuente de abastecimiento de agua, aspecto que los pobladores saben:

- *Hay pueblos que directamente consumen el agua del lago, San Pedro de la Laguna, Santiago Atitlán, el agua que ellos consumen viene del lago.*
- *En San Pedro toda la gente usa el agua del lago y lo sabe...*
- *...aquí (Santiago Atitlán), el agua que llega a las casas es del lago un 95.6%, y el resto, que son fincas tienen tuberías que jalan agua de un río, pero aquí en el casco urbano el 100% del abastecimiento de agua es del lago... la población es consciente de que el lago es el abastecimiento del municipio ...*
- *... Solo el lago (es la única fuente de abastecimiento del municipio de San Lucas Tolimán). Hay personas que extraen agua por la noche para venderlo el siguiente día; de ahí hay gente que la usan para el consumo humano... el problema si perdemos el agua, si lo contaminamos, vamos a perder la fuente de agua que tenemos...*
- *... En el caso de San Pablo de la Laguna nosotros consumimos el agua directamente del lago. Aquí no hay ríos ni riachuelos. Tenemos una pequeña fuente pero no pertenece a San Pablo, pero sí a San Marcos de la Laguna. Entonces el agua que consumimos es una combinación, pero tal vez un 80% se toma directamente del Lago de Atitlán...*

En las comunidades que no tienen al lago como principal fuente de agua, existen pobladores, especialmente, los que viven a orillas del lago, que lo usan como fuente de abastecimiento de agua:



- *... tenemos abastecimiento por manantiales... los que están a la orilla del lago usan el agua ...*
- *... el agua del lago no lo usamos, usamos agua potable que viene de las montañas, solo los que tienen sus casas a la orilla los gringos, ellos si usan el agua del lago...*
- *...El agua la gente no usa el agua (del lago) para tomar ni para regar sus plantas porque hay agua que viene de la montaña de los nacimientos. Aquí hay dos nacimientos. Solo el gringo (propietarios de casa de descanso ubicadas a orillas del lago) usa el agua del lago, lo usa para regar sus plantas, pero no lo toman...*
- *...los chaleteros (personas que tiene casas de descanso a orillas del lago) usan el agua (del lago) para regar, algunas veces usan filtros para tomar, pero aquí en el pueblo gracias a Dios que tenemos nacimientos...*

En las comunidades de la ribera del lago, que tienen a ríos y/o manantiales como la fuente principal de abastecimiento de agua, se observa que el suministro a los domicilios es irregular, como lo comentaron en Panajachel, y que pueden aplicarse a las demás poblaciones:

- *... el consumo no es constante porque no tenemos agua todos los días...*
- *... sé que hay zonas (del casco urbano de Panajachel) que no tienen abastecimiento por días...*
- *A veces no tenemos agua potable, hay que ir a sacar al lago y pues está contaminado.*

Lo anterior llama la atención sobre un factor emergente, el desequilibrio entre las fuentes de agua disponibles y la población demandante; ahora no solo se debe asegurar la calidad del agua, sino que además asegurar su disponibilidad. Podemos citar algunas circunstancias que potencialmente amenacen la disponibilidad de dichas fuentes de agua: manejo inadecuado de los recursos hídricos, aumento de la población en la Cuenca del Lago de Atitlán, urbanización desordenada, entre otros. Esto conlleva que en un futuro cercano, el Lago de Atitlán se pueda convertir en la fuente vital de abastecimiento de agua, especialmente para las comunidades ubicadas en su ribera, aspecto que los pobladores desconocen:

- *Gracias a Dios, en estas comunidades como San Marcos y San Pablo no usamos el agua del Lago, porque tenemos agua entubada. En cambio, en San Pedro lo utilizan.*

- *Nosotros tenemos manantiales donde nos da agua potable aunque a veces bajamos y nadamos en él pero solo eso. Eso es el uso que nosotros le damos. En otros pueblos sí consumen el agua porque no tienen un nacimiento...*
- *Aquí (San Juan la Laguna) no usan el agua (del lago), no lo toman, no lavan, gracias a Dios San Juan tiene sus ríos.*

Otro detalle comentado es que la disponibilidad del agua en las comunidades que no dependen del lago como fuente de agua puede cambiar, especialmente en época lluviosa, con la inhabilitación de las vías de captación por deslaves u otros desastres naturales. Lo anterior puede obligar a los pobladores a depender del lago como única fuente de agua:

- *En caso de Agatha, se rompieron las tuberías no hay agua potable y la gente tuvo que beber de esa agua, clorando sí.*
- *...uno no sabe cuáles son los riesgos que pueden existir sobre por ejemplo en las tuberías de agua potable. Puede ser que se quiebran por un deslave, el agua de lago lo tomamos en esos momentos cuando sí hay necesidad para ir a traer agua de ahí...*

Hay pobladores, cuyas comunidades tienen escasa dependencia del lago como fuente de agua, que utilizan sus recursos naturales (fauna y flora), lo que los obliga a tener contacto con el agua de lago, además los productos animales del lago pueden ser, en algún momento, reservorios potenciales toxinas de origen cianobacteriano:

- *Nosotros directamente no lo estamos utilizando, pero sí sacamos del agua cangrejos, pescado, pero no consumimos ese lago. Nosotros tenemos manantiales donde nos da agua potable aunque a veces bajamos y nadamos en él pero solo eso. Eso es el uso que nosotros le damos. En otros pueblos sí consumen el agua porque no tienen un nacimiento...*
- *Nosotros (San Juan la Laguna) directamente no lo estamos utilizando, pero sí sacamos del agua cangrejos, pescado, pero no consumimos ese lago. Nosotros tenemos manantiales donde nos da agua potable aunque a veces bajamos y nadamos en él pero solo eso...*
- *Es agua potable aquí, nadie usa agua del lago. La gente se baña ahí, casi el 25% llega para nadar especialmente cuando hay mucho calor...*

Se observan algunos aspectos de la red de agua municipal de Panajachel. El casco urbano está dividido en dos por el río San Francisco, en la margen izquierda se encuentra la parte céntrica y comercial de Panajachel cuyas fuentes de agua son

manantiales y la parte derecha está ocupado por el Barrio de Jucanyá, el cual tiene al lago de Atitlán como única fuente de abastecimiento de agua:

- *...Aquí en Panajachel tenemos cuatro tipos de abastecimiento de agua, tres son de unos nacimientos que están por unos lugares que tienen sus tanque aquí de distribución y el otro que es el de la Muni (extracción del agua del Lago) en el de la dirección del lago*
- *... aquí en Pana no todas las personas consumen el agua del lago, aquí si hay como 5 a 6 nacimientos*
- *...y creo que aquí hay una partecita nada más que se alimenta del agua del lago ... yo no estoy seguro pero creo que es Jucanyá ...*

La red municipal de agua comunica a este barrio con la otra mitad del casco urbano (la parte céntrica de Panajachel), por lo que ciertos sectores ubicados en la margen izquierda del río San Francisco pueden en algún momento estar abastecidos por el agua del Lago de Atitlán. Este aspecto suele ser pasado por alto por los pobladores que no viven en el barrio Jucanyá, a quienes el cual es reflejado en este comentario:

- *... aquí en Pana no todas las personas consumen el agua del lago, aquí si hay como 5 a 6 nacimientos...*
- *..sí tenemos agua de los nacimientos que están por este lado (el lado céntrico de Panajachel), y creo que aquí hay una partecita (barrio Jucanyá) que se alimenta del agua del lago...*
- *... hay un área (de Panajachel) que yo no sé si a estas alturas están extrayendo agua del lago o ya no, pero era un sistema de bombeo... cuando se vio el problema de la contaminación del lago por la cianobacteria detuvieron la extracción del agua del lago... dicen que el agua (domiciliar) viene de los manantiales y nacimientos, e imaginó que sí porque de qué otra fuente puede venir. Sí hay canalizaciones del agua que viene de las montañas ...*

Algunos pobladores, utilizan agua embotellada para consumo humano:

- *...ahora para consumo de alimentos hemos tenido el cuidado de comprar agua purificada ...*
- *...el agua que usan los vecinos del municipio tiene como abastecimiento el Lago de lo cual si tienen conocimiento... lo que yo sé es que hierven nada más y lo consumen, el cloro lo cual casi no lo hacen, hay otras que compran su agua pura...*

Sin embargo, uno de los entrevistados menciona la posibilidad que se esté usando el agua del Lago de Atitlán como materia prima para la elaboración de agua embotellada:

- *Hay personas que extraen agua por la noche para venderlo el siguiente día; de ahí hay gente que la usa para el consumo humano.*

### **Los métodos de potabilización que utilizan los pobladores de la ribera del Lago de Atitlán:**

Se comentan los métodos que los pobladores utilizan para la potabilización del agua; tema muy importante para los pobladores que viven en las comunidades con mayor dependencia del Lago de Atitlán como fuente de abastecimiento de agua, debido a la presencia de contaminantes, ya sean sustancias químicas (agroquímicos, productos de limpieza) y microorganismos (virus, bacterias y especialmente, cianobacteria) . Su eliminación o reducción a niveles aceptables requiere de tecnologías que, sospechamos no son parte hasta ahora, de la infraestructura usada desde la captación del agua del lago hasta su llegada a los hogares, así como lo comentan personeros del MSPAS:

- *... hemos encontrado deficiencias en esos sistemas los cuales no son formales sino sistemas informales y a raíz de esto hemos inculcado a la Municipalidad de que tiene que realizar tratamiento previo a una cloración... sin embargo, las municipalidades no utilizan esa metodología...*
- *... en San Marcos, cuando pasó el Stan, una ONG, los nacimientos allí son informales (superficiales), implementó ciertos tratamientos preliminares y primarios, pero hasta allí quedó, cosa de que no se ha venido dando tratamiento y no se clorado...*
- *Algunos pobladores están conscientes de que se deben realizar procesos adicionales de desinfección del agua proveniente de la red municipal, a pesar de que las Municipalidades realizan la cloración del agua:*
- *... para consumir el agua del chorro tenemos que hervir por veinte minutos para poder tomar... también la cloración lo cual se hace en los tanques (de captación)...*
- *... para consumir el agua del chorro tenemos que hervir por veinte minutos para poder tomar... también la cloración lo cual se hace en los tanques (de captación)...*

Algunas veces, los pobladores rechazan el consumo de agua clorada por estar ésta alterada en color y sabor (pérdida de sus propiedades organolépticas):

- *...la gente no toma el agua clorada pues solo sienten el olor...*
- *...se clora el agua, pero hay muchas personas que protestan por el cloro de agua...*

En general, los pobladores tienen conocimiento acerca de las medidas generales para tratamiento del agua para consumo humano, mencionando las medidas generales (cloración, cocción, exposición UV) de desinfección del agua:

- *... La mayoría hervimos el agua para consumirse. Eso es el método más utilizado. Y hay algunos, tal vez lo hace por la herencia que tienen, pero lo consumen así como viene, natural...*
- *... El sistema de cloración, que lo proporciona la Municipalidad y de allí la concientización de las personas... hay algunos que hierven el agua...*
- *...no tengo mucho recurso para comprar agua filtrada, estamos acostumbrados a tomar agua hervida, y ahí hay confianza para usar el agua para hacer café...*
- *... los procesos que utilizan las personas para potabilizar el agua que nosotros recomendamos en charlas son tres: SODIS (Solar Water Desinfection), hervir el agua y cloración...*

Sin embargo, hay personas que confunden los métodos de desinfección del agua con el proceso de potabilización del agua:

- *...lo que hizo el alcalde de acá, empezó a instalar cloradores que tampoco son efectivos por el caudal que tienen, pero eso era lo que se tenía a la mano, y según el alcalde sólo con clorar el agua y a puede tener agua pura.*

Existe un detalle, el cual se menciona en los comentarios. La popularización de los filtros de agua domésticos, que de forma errónea están siendo considerados como purificadores de agua por los pobladores, los mencionan en el mismo renglón que la cloración y cocción del agua:

- *Hay instituciones que traen filtros y los venden a toda la gente con la idea de que ellos purifiquen su agua. Hay mucha gente también que hierve su agua para tomar y de esta forma. Ahora el cloro no tanto, hay algunas personas que lo echan, pero acá es más el ecofiltro...*
- *Ahora hay unos filtros que parece que unos americanos trajeron, y gracias a Dios, hace unos dos años me regalaron uno de esos filtros. Sí funciona porque cuando me lo dieron, si se*

*cae bien fría el agua es porque está filtrado, pero si se cae un poco tibia el agua es porque no está filtrado.*

- *...la mayoría de la gente usan un filtro de agua (mecanismo de ósmosis mediante filtros de barro o arcilla y otros materiales), en una escuela llegaron a vender filtros que costaban 500 quetzales los cuales vendieron en 50 quetzales y la mayoría de la gente lo compro.*
- *...el otro modo es que están utilizando el filtro, para que sea más purificada.*
- *... la cuestión de clorar, hervir el agua, tambos que hay que asolearlos (SODIS), los tambos purificadores que venden...*

Sin embargo, existen pobladores que consumen el agua proveniente de la red municipal sin darle tratamiento previo:

- *Hay muchas familias que todavía hacen (consumir agua del chorro sin desinfectarla) eso por la situación económica, aquí hay mucha gente pobre que por la misma necesidad consumen el agua de tubo...*

Por último, algunos pobladores mencionan al agua embotellada como otra forma de obtener agua adecuada para consumo humano, probablemente por tener los recursos económicos y además, el no querer consumir el agua proveniente de la red municipal:

- *... para consumo de alimentos hemos tenido el cuidado de comprar agua purificada...*
- *No se realiza ningún proceso de potabilización ... es poca la gente que usa agua embotellada ... la mayoría de la gente usan un filtro de agua (mecanismo de ósmosis mediante filtros de barro o arcilla y otros materiales..*
- *... allá (comunidad Cerro de Oro, Santiago Atitlán) es el agua es potable, porque lo últimos análisis que se ha realizado indican que no están tan contaminadas, únicamente en los otros dos cantones sí...*

### **Patologías que los pobladores de la ribera del Lago de Atitlán asociaron al agua contaminada por la cianobacteria:**

Los entrevistados mencionaron diversos problemas de salud asociados al uso de agua contaminada por cianobacterias. Primero, los pobladores en general poseen el conocimiento sobre la relación del uso de agua proveniente de una fuente contaminada con afecciones a la salud:

- *... A veces no tenemos agua potable, hay que ir a sacar al lago y pues está contaminado y da mucha diarrea a la gente y da mucho vómito y todo eso... nos salen alergias.*
- *Dice que generalmente provocan alergias, especialmente problemas, alergias o enfermedades de la piel, y creo que otra fuente es el parasitismo*
- *...hay que ir a sacar (agua) al lago y pues, está contaminado y da mucha diarrea a la gente y da mucho vómito y todo eso... nos salen alergias...*

Además tienen evidencia empírica reforzada cotidianamente sobre esta relación:

- *...a la persona que pueda llegarse a bañar al lago pueda llegar a desarrollar enfermedades de la piel que puede ser el mismo día de haberse bañado o más después.*
- *...a veces los niños nos dicen que su compañero no viene porque se han enfermado por el consumo de agua. Otra enfermedad es un tipo de alergia, como ronchitas. De todas maneras se van a bañar y cuando vienen trae en el cuerpo rojizo; como pura alergia.*
- *...cuando uno se va a bañar en el lago resulta con ronchas y esa enfermedad uno lo trae...*

Al hablar del tema de la cianobacteria, algunas personas entrevistadas generalmente no hablan sobre sus efectos a la salud como agente etiológico, lo incluyen en el contexto de la contaminación del agua (lago, río, etc.) y las patologías resultantes. Debido a que la información sobre la cianobacteria es insuficiente por diversas circunstancias: es un tema especializado restringido a ciertos círculos (académicos e institucionales), es muy escasa la presencia de la concepción de la cianobacteria en la población en general, barreras lingüísticas tanto como ausencia de información como limitaciones propias de los idiomas, entre otros. Lo anterior, además puede explicar las respuestas negativas obtenidas al preguntar sobre efectos de la cianobacteria en la salud humana:

- *...no he escuchado que la cianobacteria o el agua contaminada del lago hayan o puedan provocar enfermedades ...*
- *... Es un problema serio, es un problema de bacterias y todo lo que esto implica que tiene efectos serios...*
- *Y otras personas, ya mencionan que la cianobacteria puede afectar la salud humana al consumir recursos naturales del lago como los peces:*
- *...la cianobacteria he oído que provoca diarreas tal vez por los pescados...*

- *por eso se suspendió el consumo de pescado para evitar problemas estomacales o una intoxicación...*

Sobre los riesgos o problemas a la salud provocados por la contaminación del agua por la cianobacteria notamos que los pobladores al hablar de patologías, pueden referirse a ellas en términos populares o poco conocidos:

- *... a las criaturas le empacha el agua. Hay quienes que son muy delicados a bañarse con el agua, o a veces les da alergia.*

O algunas veces las engloban dependiendo del órgano o sistema afectado:

- *... enfermedad de hígado, del estómago y eso.*
- *... generalmente provocan alergias, especialmente problemas, alergias o enfermedades de la piel.*

Se observa que en el caso de las afecciones dermatológicas, la idiosincrasia del cuerpo humano de distintas personas en relación al contacto del agua del lago ha sido observada por los pobladores, quienes han descrito ausencia de reacciones hasta patologías esperadas; he aquí este comentario:

- *...y si me baño, dependiendo de qué tipo de piel tenga, voy a tener alergias...*
- *...para algunas personas que sean sensibles corporalmente a algún tipo de bacterias de éstas sí les afectará, pero a algunos no porque particularmente algunos de nosotros nos bañamos ahí.*
- *Como seres humanos no todos los cuerpos tiene la misma seguridad. Hay cuerpos que son muy vulnerables e inmediatamente tienen alergia, y hay cuerpos más fuertes. El efecto varía.*

Sin embargo, existen pobladores que afirman la casi ausencia de afección a la salud humana por el uso del agua del lago para sus actividades, quizá al hecho de ser endémica la presencia de patologías prevenibles, que forzosamente son el resultado de la natural interacción entre el ser humano y un recurso hídrico contaminado como lo es el lago de Atitlán, lo que es acentuado por diversas circunstancias. Debido a esto, los pobladores, otorgan a las enfermedades derivadas de esta interacción, calidades de hechos normales en su vida como lo explican en este comentario:



- *... los niños como trabajan y comen parece que el cuerpo ha resistido estas cosas por eso que no es fácil enfermar, no como pasó con un periodista de canal 7, son sólo dos gotas del agua de lago que puso en su piel a los cinco minutos ya estaban las ronchas, cosa que es increíble*
- *...hay mucha gente en el pueblo que baja a bañarse al lago y no, no hemos tenido problemas (de salud)...*

Son pocos los que hablan de posibles afecciones a otros órganos o sistemas, estos conocimientos lo poseen pocas personas, como las que laboran en instituciones especialmente en los servicios de salud, que menciona lo siguiente:

- *...Lo que yo tengo entendido es que ataca el cerebro, así como lo comentaron en las charlas y a veces el hígado no se hasta donde sea cierto por la cuestión que hasta lo deja parálítico a uno.*
- *... Sabemos que esa bacteria ataca el riñón y el hígado... puede dar diarreas según lo que he oído, también da alergia.*

### **Determinación de programas de atención médica para abordar los riesgos potenciales a la salud humana por la contaminación del Lago de Atitlán por la cianobacteria:**

Sobre los programas enfocados en la prevención y resolución de problemas a la salud causados por el uso de agua contaminada con cianobacterias; las respuestas obtenidas de los pobladores, se agrupan en dos categorías. La primera, enfocada en programas enfocados en el tema de la cianobacteria, en la cual, ninguna de las personas entrevistadas mencionó algún programa enfocado a la prevención y resolución de problemas de salud causados por el uso de agua contaminada con cianobacterias:

- *No (hay programas específicos), sólo se atiende en el Centro de Salud, y dependiendo del estado que esté se refiere...*
- *Generalmente solo hablan de las posibles causas por el consumo de agua, pero un tratamiento específico, bueno, yo al menos no lo he escuchado...*
- *...no hemos tenido instituciones son las que nos amparan, las que nos apoyan en esa lado para las cianobacterias...*

- *...campañas para atención/prevencción de problemas de salud relacionados con la cianobacteria no lo tenemos ...*
- *...que haya algo para alguien que resulte afectado por el problema no sé...*

Se mencionan medidas generales de prevención de patologías asociadas a la contaminación del agua:

- *... lo que han recomendado es que no se bañe ahí, por prevención.*
- *ha habido divulgaciones para recomendar no consumir esa agua. Estas divulgaciones han sido realizadas por la Municipalidad, el Centro de Salud.*
- *He oído que por parte del centro de salud hay un convenio y una ley con las Municipalidades donde las Municipalidades tiene la obligación de clorar el agua pero solo hasta ahí he escuchado.*
- *se empezaron a generar estrategias, entonces salió una ley del Ministerio de Ambiente, que las Municipalidades están obligadas a dar tratamiento a las aguas residuales y los desechos sólidos.*
- *... en las asociación tenemos un pequeño proyecto que nos dio el Centro de Salud sobre la elaboración cloro específicamente no químico sino más bien de sodio ¿?, que se echa al agua para tomar o lavar las verduras...*

Así como el consumo de los recursos obtenidos del lago, principalmente la fauna:

- *... para prevenir enfermedades uno tiene que cuidarse de comer cosas que están ahí en el lago porque dicen que comerlos lo enferman a uno...*

Se han reforzado mediante recursos humanos los programas institucionales de vigilancia de la calidad del agua en algunos municipios:

- *...aquí en (el distrito de salud) en Panajachel se contrató a dos inspectores (de saneamiento ambiental), uno para Santa Catarina Palopó y otro en San Andrés Semetabaj...*
- *Hay un comité de salud que funciona en todo el municipio pero lo que se hace aquí es formar grupos en el centro de salud, hay grupos de madres, muchos grupos, madres consejeras, comité de salud que trabajan eso para disminuirlo.*

Se mencionan además, programas implementados que inciden de forma indirecta en la mitigación de factores relacionados con la cianobacteria:

- *Aquí está el centro de salud. Han sacado camionadas de contaminación del lago. Ahora se ha olvidado de los programas*
- *... por lo menos el Centro de Salud ha hecho la campaña de divulgación en donde recomiendan que hay que hervir el agua o clorar*
- *Recolección de basura...*

Algunos medios donde se divulgaron algunas de las medidas que se mencionaron en los párrafos anteriores fueron principalmente locales, como la radio, por ser accesible y de bajo costo:

- *Cuando el problema empezó había programas radiales con el fin de explicar...*

### **Determinación de acciones comunitarias e institucionales que se han implementado para reducir la proliferación de la cianobacteria en el lago de Atitlán:**

Las acciones que los entrevistados refirieron que fueron implementadas para reducir la proliferación de la cianobacteria en el Lago de Atitlán fueron enumeradas y luego agrupadas. De estas acciones se hace mención de las acciones donde el lago fue directamente involucrado como las jornadas de limpieza del lago donde los pobladores e integrantes de diferentes grupos se metieron al lago para hacerle una limpieza manual. Esta limpieza manual requería que se sacaran la biomasa producida por la cianobacteria del lago. Otra actividad que involucraba que los pobladores trabajaran directamente en el lago era la siembra de tul y ninfa, vegetaciones acuáticas que los pobladores creen que ayudaría para reducir el impacto de la cianobacteria en su lago:

- *...los COCODES de cada sector se organizaron y dijeron: vayamos a limpiar el lago, fueron a sacar una cantidad de pashte (biomasa producida por la cianobacteria)... luego hicieron un tipo de toma e hicieron trampas a cada cierta distancia y cultivaron ninfas y que según dicen las ninfas se nutren bastante de las aguas negras y ahí lo tienen como un kilómetro de ninfas hasta llegar a la orilla del lago, el agua a cierta distancia se filtra, cae nuevamente a otra cuneta, luego a otra trampa y esto es lo que este grupo de personas ha hecho.*

- *La Municipalidad se ha dado la tarea de limpiar constantemente... hay grupos de personas que realizan buceo que vienen periódicamente a limpiar el lago...*
- *Sembraron tul en las orillas, esto es muy importante porque protege al lago... principalmente las comunidades que estaban a orillas en este se organizaron para realizar una limpieza, sacaron algas y lo que había allí...*
- *Lo que yo he visto es que sí se ha hecho es que han formado grupos de mujeres para que se limpian el agua, para recoger basura para sembrar el tul y para sembrar ninfas.*
- *...Hay una asociación que existe aquí, los Cuidadores del Lago, ellos siembran el tul. El tul filtra el agua, no sé exactamente cómo, pero sí he escuchado que ayuda para que no vaya más por adentro la basura. El tul también es el pulmón del lago. Nosotros ayudamos en sembrar eso en la orilla. Hace un mes sembramos una parte por atrás.*

Dentro las acciones que los entrevistados refirieron que haya sido realizada para reducir la proliferación de la cianobacteria son las acciones educativas o preventivas. Los entrevistados refirieron que para reducir la proliferación de la cianobacteria se han hecho reuniones, conferencias y charlas con diversos grupos, especialmente con los estudiantes:

- *Los de Vivamos Mejor juntaron a las mujeres para darles charlas... para prevenir (la contaminación)...*
- *...Estamos tratando de sacar las personas de la orilla, tratando de meterles al sistema de pilas para no contaminar... Tenemos charlas ambientales. Estamos trabajando con todos los establecimientos, primario, básico y diversificados y también lo que es grupos organizados en las comunidades... Lo que estamos trabajando es información con las señoras que lavan es nuestro mayor proyecto. Donde llegan las aguas negras al lago se ve la suciedad, entonces hemos llevado la gente para enseñarles que miren de lo que está llegando al lago, es lo que ustedes está provocando y ustedes lo van a pagar.*
- *...nosotros como escuela siempre buscar la manera de hablar con los niños sobre el cuidado que nosotros deberíamos tomar, no solo cuando nos bañamos pero en la ingesta del agua. Hay una asociación que se llama Manclalaguna que ha pasado por las escuelas, incluso hicieron unas charlas en este año.*
- *Reunieron todos los líderes de cada ONG... dijeron que ya no sigan lavando las mujeres en el lago*
- *Y hemos hecho reuniones de padres de familia en momento de entregar calificaciones (de los estudiantes en la escuela) para decirles que tenemos que cuidar el medio ambiente*

- *El año pasado el alcalde nos pidió el favor que proporcionaremos el tiempo en todas las escuelas y expusieron sobre el tema.*

Como acción educativa, se han realizado publicidad, compañías y anuncios públicos por medio de un altavoz en diferentes municipios:

- *...se hicieron conferencias de prensa...*
- *...se está siendo perifoneos (publicidad con megáfono en las calles)...*
- *...Hemos tratado de hacer mucha publicidad y compañías con los alumnos. Hemos hecho compañías de limpieza...*
- *...El otro tipo de acción es la publicidad y la radio. La emisora, Voz de Atitlán, hace mucha publicidad y anuncian sobre este tema y llega a nuestras radios.*

Otras acciones educativas que no evitan la proliferación de la cianobacteria pero fueron referidos por los entrevistados eran sobre la necesidad de no bañarse o consumir el agua contaminada por la cianobacteria para evitar la enfermedad:

- *...que no sigan metiendo al lago para bañar, mejor previenen en eso para evitar más problemas de la piel...*
- *...la gente también consciente empezaron a tener temor por esa sustancia de lo que decían que era muy tóxico que puede caer mal a la salud y dar enfermedad entonces anunciaron que no se bañen en el lago ni tomen de esa agua...*

Otra acción ante la necesidad de reducir la proliferación de la cianobacteria era la formación de diferentes grupos sociales que han plantado metas de vigilar por el medio ambiente y buscar cómo remediar el problema actual:

- *...la misma población fue que llegó a limpiar, pues se formaron comités...*
- *...por eso yo participo en un nuevo comité, Santa Cruz por el Lago, y ahora lo que estamos buscando es la implementación de letrinas para contrarrestar un poco lo que es el flujo de aguas negras...*
- *...La gente también se organiza para trabajar a sacar. Es una buena iniciativa de la gente. La Muni apoya a estas personas, aunque no económicamente, pero ha dado toallas, jabones.*

- *Pura Vida, una institución que aquí nació, entonces trabajó en las escuelas para hacer conciencia a toda la gente que la basura no se tira o buscar forma de reutilizar... (también) formaron una asociación en cada comunidad que se llama Todos por Nuestro Lago...*

Un mejor manejo de los desechos sólidos ha sido de las acciones más impactantes y mencionada para reducir la proliferación de la cianobacteria. En las diferentes comunidades han tratado de identificar y erradicar los basureros clandestinos, implementar servicios municipales para el manejo de desechos sólidos, organizar jornadas entre los pobladores para recoleccionar la basura que contamina el medio ambiente, comenzar de clasificar basura y reciclar:

- *...que si usaban jabón que no tiraran las bolsas al lago que si iban al mercado que llevaran canastas, que compren cosas sin bolsas (plásticas), llevaran un traste para poner carne y no usar bolsas para prevenir (la contaminación)... ahora ya empezaron a clasificar la basura orgánica e inorgánica... el día lunes el camión solo recogiendo plásticos, el día martes pasa por el vidrio, el día miércoles pasa por orgánicos, el día jueves pasa por papeles de baño...*
- *... ¿No sé si has visto unos túneles que estamos colocando en las calles? Muchas veces decimos al niño que no tire la basura, pero no hay donde colocarlo, él recoge la basura pero no hay donde colocarlo...*
- *Gracias a Dios el alcalde solicitó camiones y ahora solo hay que pagar un quetzal para que lleven la basura, y la basura la llevan hasta allá arriba para tirar.*
- *...En caso que vamos con los campesinos donde hay 30 basureros clandestinos los cuales hasta la fecha hemos erradicado 6...*

Para mejorar el manejo de aguas residuales los entrevistados refirieron que se ha realizado una ley por parte del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales obligando a cada Municipalidad que dé tratamiento a sus aguas residuales. Ahora se está construyendo actualmente una planta de tratamiento en Panajachel. En otros municipios han implementado programas de letrización, fosas sépticas domiciliarias, construcción de “ecobaños” y plantas de tratamiento natural tipo “Wetland” o jardines botánicos para las aguas residuales, según los entrevistados. Por último, en San Lucas Tolimán se ha implementado el uso de pilas públicas para evitar que los pobladores laven su ropa en el lago:

- *...salió una ley por el Ministerio de Ambiente en donde las Municipalidades quedan obligadas a darle tratamiento a sus aguas residuales...*
- *...en mi caso tengo mi fosa séptica... cuando salió el problema de la cianobacteria, el Ministerio de Ambiente nos exigió que contáramos con fosa séptica, algunas instituciones nos proporcionaron fosas sépticas...*
- *...Ahora van a construir otra (planta de tratamiento de aguas residuales) a 150 metros de la orilla del lago (en Panajachel), y si lo comienzan a utilizar que bien.*
- *...Estamos hablando de las pilas públicas, donde estas pilas el agua tiene una planta de tratamiento natural, estamos hablando de los Wetland, donde todo el agua de las pilas se procesa por el Wetland antes de llegar al lago se da un tratamiento...*
- *...lo que estamos buscando es la implementación de letrinas para contrarrestar un poco lo que es el flujo de aguas negras, tratando de cambiar una letrina por un inodoro y los famosos ecobaños.*

Según un informante ha habido acciones para evitar la erosión de suelos como acción para reducir la proliferación de la cianobacteria en el lago. Estas acciones incluyen la reforestación y la construcción de barreras vivas:

- *...La reforestación, le cuento que este año también los establecimientos (de San Lucas Tolimán) logramos reforestar 45,000 plantas. Y también, ahorita tenemos el siguiente proyecto que es 80,000 plantas que estamos trabajando con 12 personas para reforestar todos los cerriles erosionados que hubo el año pasado. Con reforestación queremos trabajar lo que es retenimiento de suelos, barreras vivas. De hecho ya tenemos varias que hemos trabajado durante estos años porque hemos visto que el año pasado con barreras vivas no hubo tanta erosión, porque las barreras vivas retuvieron la tierra...*

Una importante acción que fue mencionado por un informante es la recolección de información para el diagnóstico del problema lo cual convendría para saber cómo se debe intervenir; y otro informante habló de la formación de estrategias para el abordaje del problema con la realización del Plan de Trabajo del 2012 al 2021:

- *...estamos trabajando conjuntamente con la Municipalidad, Africa 70 para recolectar toda la información posibles, sacar una conclusión y de ahí tomar acciones... de las acciones realizadas sólo le menciono la que estamos realizando, sacar un diagnóstico.*

- *...pienso que muchas veces que ese problema falta ese trabajo en conjunto de las diferentes instituciones al estilo de eso del COMUDE, donde todas las organizaciones y los grupos, que puede ser un medio de trabajo de comunicación, ahora se están organizando para hacer un plan de trabajo del 2012 al 2021 que me comentaron.*

Por último, un entrevistado mencionó la intervención religiosa por medios espirituales por la cual hubo una conjunta de sacerdotes mayas para pedir protección del Lago de Atitlán. Esta acción puede ser considerada empírica, sin embargo era un acontecimiento que demuestra la seria actitud que tiene los pobladores frente este grave problema:

- *...muchos a través de su fe, por ejemplo aquí se unieron los sacerdotes mayas que le llaman, hicieron ellos su trabajo espiritual pidiendo por la protección del lago... de todas partes de Guatemala llegaban y hacían los trabajos espirituales...*

A discutir las acciones realizadas para reducir la proliferación de la cianobacteria con los entrevistados, muchos entrevistados mencionaron a varias organizaciones que se encuentran actualmente trabajando a favor del medio ambiente. De estas organizaciones se hace mención de las Municipalidades de los municipios de la ribera del lago, los COMUDES de Panajachel, los COCODES de San Lucas Tolimán y Santiago Atitlán. Por parte del MSPAS, el Área de Salud de Sololá tanto como diversos servicios de atención primaria y secundaria han trabajado al respecto. Localmente los comités de salud se han organizado y trabajado. Otras entidades gubernamentales que los entrevistados refirieron que hayan trabajado para aliviar el problema de la cianobacteria son: AMSCLAE, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y SOSEP. Organizaciones no gubernamentales que fueron mencionadas incluyen Manclalaguna, Todos por Nuestro Lago, PROISTA, Africa 70, Amigos de Santa Cruz, Comité de Santa Cruz por el Lago, Cuidadores del Lago de San Juan la Laguna, FEDETNA, diferentes iglesias, diferentes Club de Rotarios, Vivamos Mejor de diferentes municipios, PROLAGO, Pura Vida, y por último ha habido la colaboración de diferentes hoteles.



## **Determinación de acciones que faltan para realizar para reducir la contaminación del Lago de Atitlán por la cianobacteria:**

Las acciones que hacen falta para aliviar el problema de la contaminación de la cianobacteria en el Lago de Atitlán, los entrevistados fueron enumeradas en una lista y éstas fueron categorizadas según la clase de acción que estaba siendo sugerida. Las acciones que fueron sugeridas eran educativas, sobre cambios de las conductas actuales, la formación de legislación, el manejo de desechos sólidos y aguas residuales, acciones que involucran el lago directamente, diferentes coordinaciones y acciones para evitar la erosión. Muchas de las acciones que fueron sugeridas también eran mencionadas anteriormente como acciones ya implementadas. Esto se debe al diferente perspectiva de los diferentes entrevistados.

Entre la acciones educativas o preventivas que fueron mencionadas, fue mencionada que debe haber una creación de programas en las escuelas, tanto como charlas y capacitaciones para los alumnos. La educación dirigida a los niños es importante porque los cambios que puedan haber serían más impactantes ya que los niños están considerados que tienen más receptivos a cambios y tienen una mayor capacidad para aprender:

- *Lo que pienso es la cuestión de crear programas en las escuelas, comisión en las escuelas, más a nivel básico y medio, que le den interés, con las charlas y capacitaciones que se den a los alumnos quizá ellos se den cuenta del problema que se está afrontando quizá se ha hecho pero se tendría que implementar a gran escala...*
- *Tenemos que trabajar por las familias, con los niños. Pensamos que un adulto puede cambiar un 40%, pero un niño podemos cambiar el 100%... Hacer más conciencia entre todos los pobladores que dependemos del agua del Lago de Atitlán. Porque este es el primer paso para que las personas se dan cuenta de necesidad de los cambios.*

Otra sugerencia era la realización de publicidad educativa en los idiomas mayas particulares de los pobladores de la ribera del Lago de Atitlán, especialmente Tz'utujil:

- *...a la gente que tiene dificultades como en el lenguaje, comunicación, y tenemos que enseñar más a esa gente...*
- *...cuando llega alguien con una persona para hablarle sobre la cianobacteria ella pregunta qué es cianobacteria en Tz'utujil, es lo que nosotros hablamos, le podemos dar nombres pero*

*no son esos nombres, porque trabajar de esa manera... (es un proyecto) muy grande para alcanzar las gentes que hablan Tz'utujil...*

Fue mencionado que es necesario que los padres tengan que enseñar a sus hijos desde la casa cómo cuidar al medio ambiente:

- *...considero que desde la niñez nosotros, creo que nuestra primera escuela es nuestra casa, y si en nuestra casa nos enseñan que debemos depositar la basura en un lugar adecuado allí siempre vamos a depositar la basura.*
- *...deben pensar en el futuro de sus hijos, tal vez no pensar en hoy, piensen en el futuro de sus hijos, eso es lo que se puede hacer, educar a los hijos...*

Ya que la televisión y la radio son impactantes medios de publicidad, fue mencionado que debe haber más información emitido por los canales de televisión y las radios. Por último, fue sugerido que las personas que ocupan un papel como líder en la comunidad, especialmente los alcaldes, directores de Centros de Salud y directores de las escuelas deben realizar pláticas emitidas en la radio:

- *...la Muni también si fuera tan consciente ellos pueden mandar discos, dvd`s en la tele, como ahora hay más medios de comunicación, por ejemplo allá en San Pedro hay cables de San Pedro y de San Juan (la Laguna), o si fueran tan conscientes los de la municipalidad o los directores de cada Centro de Salud o el Alcalde, el Alcalde puede pagar, y el Director puede hablar, que es lo que se hace para educar a la gente en la radio.*
- *Tal vez tiene que haber una divulgación por televisor y radio para hacer la gente saber...*
- *...La otra acción sería la más publicidad por la radio y tele a modo que la gente entienda y colabore para no tirar la basura al lago.*

Para reducir la proliferación de la cianobacteria algunos cambios de conductas fueron sugeridos. Primero de todo, fue expresado por un entrevistado que falta que los pobladores tomen en práctica de lo que les habían enseñado sobre la contaminación de cianobacteria. Ninguna medida educativa va a tener un impacto si las personas no están dispuestas a cambiar sus conductas. Algunos cambios en conducta que fueron sugeridos por los entrevistados eran: el uso de canastas y servilletas en vez de bolsas plásticas para que no haya tanta basura, el reemplazo de los abonos químicos por los

abonos orgánicos y el reemplazo de los detergentes contaminantes por los detergentes biodegradables. Estas son sugerencias que la gente puede practicar diariamente con el objetivo de reducir la cantidad de contaminantes que lleguen al lago:

- *...además de eso creo que la educación es bien importante para que nosotros tomamos en práctica todo lo que nos enseñamos...*
- *Evitar el uso de abono químico porque hemos escuchado que mucho del alimento de esta bacteria es la utilización del abono químico que llega al lago y el elemento básico. Tenemos que sustituir el abono químico por un abono más natural.*
- *...medidas como la utilización de detergentes, hay detergentes que no son contaminantes y hay detergentes que sí son contaminantes, tratar la manera de concientizar de parte de la Municipalidad, llamar a los tenderos y decir bueno porque mejor no vender ese tipo de jabones para ayudar a nuestro lago... nosotros hemos clasificado los tipos de jabones que son y no son contaminantes.*
- *...lo otro es también el uso de las bolsas o el uso del duroport, especialmente eso está afectando, que eso muchas veces, por ir a la tienda a traer pan, en vez de llevarse una canasta o una servilleta o algo, preferimos que nos den bolsa o a veces cositas así que sí podemos tenerlas en otras fuentes y que no se ha obtenido.*

Varios entrevistados sugirieron la formación de legislación para reforzar las acciones que ya han implementado o deben de implementar. Primero, fue sugerido que haya una implementación de sanciones para los que contaminen el medio ambiente y por tanto dan lugar a la proliferación de la cianobacteria. Estas sanciones pueden ser dirigidas a individuos tanto como Municipalidades que no cumplan con una conducta correcta que cuida el medio ambiente. También hubo una sugerencia que prohíba que los pobladores laven su ropa en el lago:

- *...conjuntamente con las autoridades locales poner sanciones, si se detecta que el compañero tiene un restaurante y se detecta que no cumple con las medidas, sancionarlo, porque sancionándolo a él usted con su restaurante trata la manera de evitar la contaminación, poner sanciones drásticas así para evitarnos problemas...*
- *También sería interesante que por medio del gobierno y leyes hubiera manera de sancionar a estos municipios o pueblos que estén contaminando fuertemente el agua.*
- *Sería aplicar legislaciones sobre el ambiente por parte de las Municipalidades. Todas estas leyes deben tener una relación con las municipalidades y luego una fiscalización.*

- *...también tiene que haber una ley que prohíbe lavar en el lago.*

Varios entrevistados creen que falta para implementar más acciones dirigidas al manejo de desechos sólidos y aguas residuales. Dentro las acciones mencionadas para implementar para el manejo de desechos sólidos, se incluyen: programas de reciclaje, la clasificación de basuras, compañías de limpieza y consciencia para no tirar su basura en cualquier lado. Sugerencias para un mejor manejo de aguas residuales, se incluyen: la búsqueda de fondos para construir más “ecobaños”, la terminación de la planta de tratamiento de aguas residuales actualmente bajo construcción en Panajachel, la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales en cada comunidad de la ribera del Lago de Atitlán y el uso adecuado de los drenajes:

- *...hay un programa de reciclaje por parte de extranjeros pero falta que la gente colaboré. La población siempre bota la basura donde acaban de ir a quitar basura. Porque sí han ido a enseñar los niños. La gente tiene que dejar de botar su basura, clasificarla y dejar de llevar su basura para botarla detrás de la casa de alguien.*
- *...implementar sistemas para que las aguas negras no lleguen directamente al lago, con este tratamiento previo a que llegue a la planta de tratamiento municipal, el agua ya llegaría más descontaminada y con el proceso que se le da al agua allí saldría más limpia ...*
- *Yo pienso que para evitar la contaminación hay que empezar con proyectos para que los drenajes no lleguen al lago para que la basura sea controlada.*
- *Decir a las autoridades que terminen la planta de tratamiento (en Panajachel) y que nosotros no contaminemos más el lago...*
- *Buscar más fondos para las letrinas ecobaños, pero tenemos un problema acá en Santa Cruz con el sistema de drenaje...*
- *...(Falta la construcción de) plantas para el tratamiento de cada comunidad.*

Las acciones que fueron sugeridas por los entrevistados que involucran el lago directamente incluyen el uso de aparatos, los cuales se colocan en el lago para eliminar la cianobacteria. Los aparatos que describió el entrevistado corresponden a un sistema de aireación artificial que ha sido empleado anteriormente en el Lago de Amatitlán. Este sistema es lo mismo que fue estudiado por Pérez (13). El entrevistado refirió que un sistema de aireación artificial debe ser disponible para cada municipio de la ribera del Lago de Atitlán. Además fue mencionado por algunos

entrevistados que el gobierno debe proporcionar sustancias químicas para verter en el lago para eliminar la cianobacteria. Esta última acción sería inapropiada siendo que tal medida traería consecuencias negativas y mayor destrucción al ecosistema del lago:

- *...Han dicho que en el Lago de Amatitlán el gobierno ha dado aparatos que se colocan directamente en el lago para eliminar parte de esta sustancia pero en este caso, en el Lago de Atitlán no se ha visto ni uno de esos aparatos. Por al menos que haya uno en cada municipio, no se ha visto. En caso de estas comunidades, San Marcos, San Pablo, San Juan, San Pedro, no hay ni uno de esos aparatos que sirvan supuestamente para tratar el agua o eliminar parte de esa sustancia... Ni siquiera ha visto una sustancia que se echa al lago para eliminar, no hay nada.*
- *...si se puede haber algún tipo de tratamiento que se puede dar al agua, porque si no se trata va a seguir creciendo la cianobacteria.*

Según los entrevistados, debe haber diferentes coordinaciones entre las diferentes entidades que estén involucradas en remediar el problema de la proliferación de la cianobacteria. Fue sugerido que haya una coordinación entre los diferentes municipios. También fue recomendado que hubiera una coordinación entre los alcaldes y los inspectores de salud. Un entrevistado dijo que las organizaciones gubernamentales se deben unir para combatir este problema. Otra coordinación que fue sugerida era el apoyo que las Municipalidades deben brindar a los otros grupos comunitarios, especialmente al respecto de recolección de fondos para la realización de diferentes acciones. Por último, fue expresado que las Municipalidades han dejado a los otros líderes comunitarios a un lado, por tanto debe haber una coordinación entre la Municipalidad y otros líderes comunitarios de cada municipio:

- *Sería la unificación de todos los municipios, en todos las instituciones, en todos que nos encontramos en la cuenca del Lago de Atitlán con hay participación de todos...*
- *...El alcalde debe coordinarse con el inspector de salud bien. Y no es solo aquí en San Marcos, pero todo el lago, entonces que todos los alcaldes se reúnan.*
- *La Muni debe invitar a las diferentes instituciones que trabajan sobre el medio ambiente como INAGUA, CONAP, AMSCLAE que quieren apoyar para que el medio ambiente no se deteriore. Ellos deben unificarse.*
- *...cuando viene ayuda internacional, que tomen en cuenta las municipalidades y las municipalidades que tomen en cuenta a los líderes, verdaderamente tienen años para apoyar al lago en nuestro municipio y a nivel nacional...*

- *...Por no tenemos autoridades que actúan así, pero totalitarios. Ellos creen en hacer alcaldes son dueños de todo... Para mí, lo que necesitamos es para concientizar. Hay concientización que hayan hecho pero a nivel de los grupos, pero no incluyen las otras personas...*

Algunos entrevistados estuvieron conscientes de que debe haber más programas para evitar la erosión de suelos. Estas acciones pueden ser realizadas por medio de la siembra de árboles, especialmente en terrenos despejados y terrenos empinados. También fue mencionado que los campesinos deben aprender que es mejor sembrar más árboles en vez de cortarlos:

- *...Tenemos que decirle al campesino que no corte los árboles y en vez de cortar que siembra dos.*
- *...También debería implementar la siembra de árboles...*

Algunas acciones que fueron sugeridas por los entrevistados eran dirigidas a la petición de una mayor colaboración del gobierno. Fue recomendada, incluso, que el gobierno comience a demostrar sus obras y trabajar directamente en limpiar el lago. Otra recomendación era que el gobierno debe dar asesoría y financiamiento a las Municipalidades de la ribera del lago para que cada Municipalidad esté más involucrada en la solución del problema y para que haya una mejor capacidad gestora y para hacer estrategias. Para el MSPAS fue recomendado por un entrevistado que proporcione más asistencia técnica para los personeros que se dedican a saneamiento ambiental en los diferentes municipios de la ribera del Lago de Atitlán:

- *La otra parte es que las autoridades hagan algo porque solo hablan y no hacen nada o tanto ayuda que viene pero ellos lo embolsan. Que las autoridades hagan algo para que se vea el trabajo realmente. La mera verdad es que estamos en lo mismo. También el gobierno tiene mucho que ver en esto, pienso si el gobierno se limpia el agua y nosotros también.*
- *Siento que es necesario que haya una política del gobierno en donde se puede dar a las municipalidades la asesoría y financiamiento para que ellos puedan hacer estrategias...*
- *...la otra cuestión que hay que agregar es involucrar más a la Municipalidad porque se han alejado mucho pues con el apoyo de ellos se logra bastante como entidad gestora o autoridad local se puede hacer mucho.*

- *...Creo que por parte de nosotros de Ministerio de Salud nos falta asistencia técnica. Si no podemos asesorarlos por parte de Ministerio de Salud, igual al nivel central tenemos expertos que puedan dar la asistencia técnica que hace falta...*

Otras acciones que los entrevistados dijeron que faltaban para implementar para reducir la proliferación de la cianobacteria en el Lago de Atitlán eran la involucramiento de grupos religiosos. Por último, percibiendo la magnitud del fenómeno, se valen de su espiritualidad como otra forma de abordaje del problema:

- *...Esto debe ser parte de las religiones que existen, porque vemos que todo lo que existe es parte de la obra de Dios y eso prácticamente tenemos que respetar como si estuviera dentro de una iglesia. Es algo muy lógico, pero es una lástima que no todas las personas entendemos de la misma forma, la obra maravillosa que Dios ha hecho para nosotros, en la cual pensamos que la naturaleza es nuestra, y no pensamos que nosotros somos parte de la naturaleza.*
- *...Nos falta mucho rogar de Dios para que Dios nos libre de estas cosas.*

## 7. CONCLUSIONES

- 7.1 Los pobladores sí refirieron haber recibido información sobre las cianobacterias, aunque mencionaron que dicha información es insuficiente.
- 7.2 Las causas que los pobladores mencionaron como causantes de la proliferación de cianobacterias: fueron el manejo inadecuado de desechos; prácticas agrícolas como uso de fertilizantes y pesticidas; factores demográficos como el incremento de la población; y factores ambientales como la erosión.
- 7.3 Los usos que los pobladores dan al agua del Lago de Atitlán fueron consumo humano, domésticos, agrícolas y recreacionales.
- 7.4 Manantiales, riachuelos y ríos son las fuentes principales de agua para el consumo humano en los municipios de Santa Cruz la Laguna, San Marcos la Laguna, San Juan la Laguna y Santa Catarina Palopó, y donde el Lago de Atitlán es una fuente menor. Los municipios que tienen al lago como única o principal fuente de agua para el consumo humano son los municipios de Santiago Atitlán, San Pedro la Laguna, San Pablo la Laguna, San Lucas Tolimán, y parcialmente, Panajachel.
- 7.5 Los métodos que los pobladores utilizan para la potabilización del agua del Lago de Atitlán para consumo humano fueron: cloración, ebullición, SODIS; aunque también, mencionaron que otros pobladores no utilizan método alguno. Se mencionaron a los filtros de agua domésticos como “otro” método de potabilización del agua.
- 7.6 Las enfermedades relacionadas con el consumo y/o contacto con agua contaminada por cianobacterias fueron afecciones dermatológicas y gastrointestinales principalmente; así mismo se mencionaron afecciones de otros órganos como cerebro, hígado y riñón. Sin embargo, algunos pobladores por diversas circunstancias, no poseen la comprensión sobre las enfermedades asociadas al consumo y/o contacto con agua contaminada.



- 7.7 Los entrevistados refieren no saber de programas de atención médica específicos para abordar los riesgos potenciales a la salud humana por la contaminación del Lago de Atitlán por cianobacterias.
- 7.8 De las acciones comunitarias e institucionales que han sido implementadas para reducir la proliferación de cianobacterias en el Lago de Atitlán se mencionaron: elaboración de planes y estrategias municipales y departamentales; manejo formal e informal de aguas residuales; manejo de desechos sólidos; acciones que mitigan la erosión; actividades comunitarias realizadas en la ribera del lago como recolección de basura y siembra de tul; y actividades educativas como charlas a alumnos y a los padres de familia; actividades con grupos sociales como capacitación a grupos de mujeres y a comités de salud.
- 7.9 Las acciones que los pobladores mencionaron que no se han realizado para reducir la contaminación por cianobacterias del Lago de Atitlán fueron: cambios de conductas actuales como promover el uso de bolsas de telas y prescindir el uso de bolsas plásticas; aplicación de legislación existente; la formalización del manejo de desechos sólidos y líquidos; tratamiento directo del agua del lago mediante dispositivos de aireación artificial; reducción de la erosión; mayor involucramiento del gobierno central en la promoción de la coordinación institucional; reforzamiento de la participación de los distintos grupos sociales, culturales, religiosos y educativos de las distintas comunidades; y divulgación de la información tomando en consideración la barrera lingüística que existe en la mayoría de las comunidades cuyos pobladores no tienen al español como idioma materno.

## **8. RECOMENDACIONES**

### **8.1 Al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales:**

- 8.1.1 Divulgar las funciones de la Unidad de Recursos Hídricos y Cuencas Hidrográficas mediante talleres y charlas a los actores clave de las comunidades de la Cuenca del Lago de Atitlán.
- 8.1.2 Denunciar ante la Ley a las personas o instituciones públicas o privadas que infrinjan las disposiciones del Acuerdo Gubernativo 51-2010 Reglamento de vertidos para cuerpos receptores de la Cuenca del Lago de Atitlán y su entorno.

### **8.2 Al Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social:**

- 8.2.1 Diseñar una campaña de información cuya temática sea la cianobacteria y sus efectos sobre la salud humana, elaborada en los idiomas español, tz'utujil, kakch'iquel y k'iche.
- 8.2.2 Denunciar ante la Ley a las personas y entes (públicos y privados) que no cumplen con las disposiciones estipuladas en la normativa de Saneamiento Ambiental.
- 8.2.3 Realizar y publicar sus estudios para la caracterización de las distintas especies de cianobacterias presentes en el Lago de Atitlán, el establecimiento de la infraestructura para la detección de cianotoxinas, y la identificación de sus efectos en la salud.

### **8.3 Al Ministerio Público:**

- 8.3.1 Investigar de oficio y formular cargos legales originados por las denuncias relacionadas con los delitos contra el agua contemplados en el Decreto número 17-73 y sus reformas 33-96.

8.4 A las Municipalidades:

8.4.1 Declarar las fuentes de agua de las comunidades como un patrimonio público para asegurar su protección y disponibilidad.

8.4.2 Cumplir con los procedimientos establecidos por el MSPAS para la potabilización del agua.

8.5 A las Facultades de Medicina de las Universidades de la República:

8.5.1 Actualizar los contenidos en las unidades didácticas, especialmente en las ciencias biológicas, sobre los temas relacionados con las cianobacterias.

8.6 A la Sociedad Académica:

8.6.1 Centralizar la información generada sobre la Cuenca del Lago de Atitlán, su ecología, aspectos etno-culturales, sociales y económicos para publicarla de la siguiente manera: en un sitio de la Red, siendo editada bajo rigor académico y dándola a conocer en los centros educativos de la cuenca.

8.6.2 Los académicos deben tener mayor involucramiento con los actores claves mediante su participación en actividades realizadas en las comunidades como charlas o talleres.

8.7 A la sociedad guatemalteca:

8.7.1 Se debe asumir la responsabilidad individual de revisar, evitar o reducir actitudes o hábitos que favorezcan impactos negativos a nuestro entorno ambiental (eutrofización cultural).

## **9. APORTES**

- 9.1 El estudio facilitó la comprensión de la percepción de los actores claves de las distintas comunidades de la ribera del Lago de Atitlán sobre su conocimiento sobre la contaminación del Lago de Atitlán por cianobacterias. Esto es uno de los pocos estudios con un enfoque cualitativo realizados en la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de San Carlos de Guatemala como otro abordaje para la resolución de problemas relacionados con la salud humana.
- 9.2 Fue evidenciada la importancia de la contaminación del lago por cianobacterias según los pobladores de la ribera del Lago de Atitlán.
- 9.3 El estudio actual sigue los lineamientos estipulados para la generación de conocimiento relacionados con temas a saneamiento ambiental, específicamente en la calidad de agua.
- 9.4 Se evidenció la necesidad de la colaboración más estrecha de otras instituciones académicas (otras universidades) en el conocimiento y comprensión de un problema que requiere una gestión multidisciplinaria como es este caso la contaminación del Lago de Atitlán por la cianobacteria.
- 9.5 Se señaló la ausencia de un enfoque integral para de la resolución del problema de la contaminación del Lago de Atitlán por cianobacterias.



## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Martínez F. Margaret Dix. Urgen acciones en el lago. Prensa Libre. 24 de Oct 2009; Departamentales: 18.
2. Diccionarios Oxford-Complutense. Ciencias de la Tierra. Madrid: Editorial Complutense; 2004.
3. Braga N. Tóxicos de origen cianobacteriano – Microcistinas. [en línea]. México: Zoe Tecno-Campo; 1998 [accesado Feb 2011]. Disponible en: <http://www.zoetecnocampo.com/Documentos/ciano/cianobacterias.htm>
4. Stewart I, Robertson IM, Webb PM, Schluter, Shaw GR. Reacciones de hipersensibilidad cutánea a las cianobacterias de agua dulce – estudios realizados en voluntarios humanos. BMC Dermatology [en línea] 2006 [accesado Nov 2010]; 6(6). Disponible en: [http://viaclinica.com/article.php?pmc\\_id=1488869](http://viaclinica.com/article.php?pmc_id=1488869)
5. Romeo JA. Calidad del agua. 3ª ed. Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería; 2009.
6. Castellanos H. Cuenca sur del Lago de Atitlán. Guatemala: Fundación Solar; 2000.
7. Dix M. Estudios ecológicos: el Lago de Atitlán, antes y ahora. Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala; 2009.
8. Escobar VR. Estudio de medio ambiente del Lago de Atitlán. [tesis Ingeniero Ambiental]. Guatemala: Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ingeniería; 1992.
9. Guatemala. Comisión Interinstitucional de Acciones Conjuntas del Sector Académico y del Sector de Salud. Prioridades comunes de investigación en salud 2006-2010. Guatemala: OPS; 2006.

10. Guatemala. Congreso de la República. Decreto Número 64-97: Ley que declara área protegida de reserva de uso múltiple cuenca del Lago de Atitlán. Guatemala: El Congreso; 1997.
11. Secretaría General de Planificación. Plan estratégico territorial de la cuenca de Atitlán. Guatemala: SEGEPLAN; 2006.
12. Meek SE. The zoology of lakes Amatitlán and Atitlan, Guatemala, with special reference to ichthyology. Biodiversity Heritage Library [en línea] 1908 Abr [accesado Ene 2011]; 7 (6): [60 p.] Disponible en: <http://www.archive.org/details/zoologyoflakesa76meek>
13. Pérez DB. Evaluación del efecto de la aireación artificial para mejorar la calidad del agua en el Lago de Amatitlán. [tesis Químico y Farmacéutico]. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, 2007.
14. Guatemala. Instituto Nacional de Estadística. Censos 2002: XI de Población y VI de Habitación. Guatemala: Instituto Nacional de Estadística; 2003.
15. Organización Panamericana de Salud. Salud en las Américas 2007: Guatemala. Washington: OPS; 2007.
16. Chorus I, Bartram J. editores. Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management. Londres: WHO; 1999.
17. Langbein WB, Iseri KT. Manual of hydrology: general introduction and hydrologic definitions. [en línea]. Washington: United States Government Printing Office; 1995 [accesado Feb 2011]. Disponible en: [http://pubs.er.usgs.gov/#search:basic/query=hydrologic%20definitions/page=1/page\\_size=100:2](http://pubs.er.usgs.gov/#search:basic/query=hydrologic%20definitions/page=1/page_size=100:2)
18. Tapia M. Conceptos sobre cuencas hidrográficas. [en línea]. Lima: CONDESAN; 1994 [accesado Ene 2011]. Disponible en: [http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/conceptos\\_sobre\\_cuencas\\_hidrograficas/conceptos\\_sobre\\_cuencas\\_hidrograficas.pdf](http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/conceptos_sobre_cuencas_hidrograficas/conceptos_sobre_cuencas_hidrograficas.pdf)

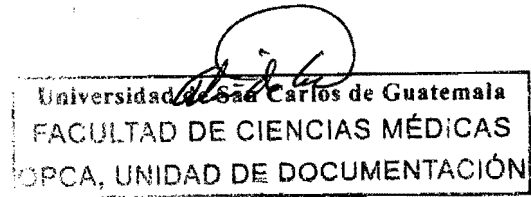
19. Elton CS, Miller RS. The ecological survey of animal communities: with a practical system of classifying habitats by structural characters. *The Journal of Ecology* [en línea] 1954 Jul [accesado Ene 2011]; 42(2): [37p]. Disponible en: <http://www.jstor.org/pss/2256872>
20. Williams P, Whitfield M, Biggs J, Bray S, Fox G, Nicolet P, *et al.* Comparative biodiversity of rivers, streams, ditches and ponds in an agricultural landscape in Southern England. *Biological Conservation* [en línea] 2004 Mar [accesado Ene 2011]; 115: [13 p.] Disponible en: [http://www.seaturtle.org/PDF/Williams\\_2003\\_BiolConserv.pdf](http://www.seaturtle.org/PDF/Williams_2003_BiolConserv.pdf)
21. Paredes DP. Comparación de algunos parámetros físico-químicos y bacteriológicos en las microcuencas Pansalic y Pancocha en época seca y lluviosa. [tesis Químico y Farmacéutico]. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia; 1995.
22. Cole GA. Textbook of limnology. 4ª ed. Los Angeles: Waveland Press; 1994.
23. Madriz R. Evaluación del fósforo y oxígeno en la interfase ciano-agua, como una medida de eutroficación en el Lago de Amatitlán. [tesis Químico y Farmaceutico]. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Médicas; 1984.
24. De León L. Floraciones algales de agua dulce: Cianobacterias, cianotoxinas. Su relación con la salud. [en línea]. Uruguay: Universidad de la República; 2006 [accesado Mar 2011]. Disponible en: <http://limno.fcien.edu.uy/pdf/Floraciones-de-CIANOBIACTERIAS.pdf>
25. Falconer I. Australia's cyanobacteria experience. En: Health effects of exposure to cyanobacteria toxins: State of the science. Florida 2002 Ago 13-14. [en línea]. Florida: Florida Department of Health; 2008 [accesado Ene 2011]. Disponible en: [http://www.myfloridaeh.com/medicine/aquatic/pdfs/Cyanobacteria\\_200208.pdf](http://www.myfloridaeh.com/medicine/aquatic/pdfs/Cyanobacteria_200208.pdf)
26. Curtis E, Barnes S, Schnek A, Massarini A. Biología. 7ª ed. Argentina: Editorial Médica Panamericana; 2008.



27. Mulkidjanian AY, Koonin EV, Makarova KS, Mekhedov SL, Sorokin A, Wolf YI, *et al.* The cyanobacterial genome core and the origin of photosynthesis. PNAS [en línea] 2006 Ago [accesado Feb 2011]; 103(35): [6 p.]. Disponible en: <http://www.pnas.org/content/103/35/13126.short>
28. Van den Hoek C, Mann DG, Jahns HM. Algae: an introduction to phycology. Inglaterra: Cambridge University Press; 1995.
29. Whitton B, Potts M. The Ecology of cyanobacteria: their diversity in time and space. Amsterdam: Kluwer Academic Publishers; 2000.
30. Tomitani A, Knoll AH, Cavanaugh CM, Ohno T. The evolutionary diversification of cyanobacteria: Molecular-phylogenetic and paleontological perspectives. PNAS [en línea] 2006 [accesado Feb 2011]; 103(14): [6 p.]. Disponible en: [www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0600999103](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0600999103)
31. Chorus I, Falconer IR, Salas HJ, Bartram J. Riesgos a la salud causados por cianobacterias y algas de agua dulce en aguas recreacionales. [en línea]. Perú: APIS; 2007 [accesado Ene 2011]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/peru/percca023.pdf>
32. Solomon EP, Berg LR, Martin DW. Biología. 5ª ed. México DF: Mc-Graw Hill Interamericana; 2001.
33. Field CB, Behrenfeld MJ, Randerson JT, Falkowski P. Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. Science [en línea] 1998 Jul [accesado Feb 2011]; 281 (5374): [4 p.]. Disponible en: <http://www.sciencemag.org/content/281/5374/237.full>
34. Audesirk G, Audesirk T. Biología: La vida en la Tierra. 4ª ed. México: Prentice-Hall Hispanoamericana; 1996.
35. Herrero A, Flores E. editores. The cyanobacteria: molecular biology, genetics and evolution. Inglaterra: Caister Academic Press; 2008.

36. Franco A. Principio de Arquímedes. [en línea]. España: Secretaría General de Educación y Formación Profesional del Ministerio de Educación y Cultura; 2008 [accesado Mar 2011]. Disponible en:  
<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/fluidos/estatica/arquimedes/arquimedes.htm>
37. Buschmann A. Marea roja y salmonicultura en el sur de Chile. [en línea]. Santiago de Chile: Fundación Oceana; 2005 [accesado Mar 2011]. Disponible en:  
[http://www.ifop.cl/mr/images/upload/file/7\\_%20Marea%20Roja%20y%20Salmonicultura%20en%20el%20Sur%20de%20Chile\\_Buschmann%202005.pdf](http://www.ifop.cl/mr/images/upload/file/7_%20Marea%20Roja%20y%20Salmonicultura%20en%20el%20Sur%20de%20Chile_Buschmann%202005.pdf)
38. Kasper DL, Braunwald E, Fauci AS, Dennis L, Hauser SL, Longo DL, Jameson L. editores. Harrison: principios de medicina interna. 16 ed. México: McGraw-Hill Interamericana; 2006.
39. Dirección de Riesgos Sanitarios del ISESALUD. Marea roja: intoxicación por biotoxinas marinas. [en línea]. Baja California: Secretaría de Salud del Gobierno de Baja California; 2008 [accesado Mar 2011]. Disponible en:  
<http://www.cdph.ca.gov/programs/cobbbh/Documents/ISESALUD-MareaRoja-2008-07.pdf>
40. Serrano A, Mateo M, Perona E. Estructura y composición de la comunidad de cianobacterias bentónicas en un arroyo de montaña mediterráneo, el arroyo Mediano. [en línea]. Madrid: Universidad de Madrid; 2004 [accesado Nov 2010]. Disponible en:  
[http://www.limnetica.com/Limnetica/limne23a/L23a83\\_Cianobacterias\\_bentonicas\\_arroyo\\_Mediano.pdf](http://www.limnetica.com/Limnetica/limne23a/L23a83_Cianobacterias_bentonicas_arroyo_Mediano.pdf)
41. Carr NG, Whitton BA. The biology of cyanobacteria. Londres: Blackwell Scientific Publications; 1982.
42. Guatemala. Ministerio de Salud y Asistencia Social. Guía de cloración del agua. Guatemala: MSPAS; 2010.

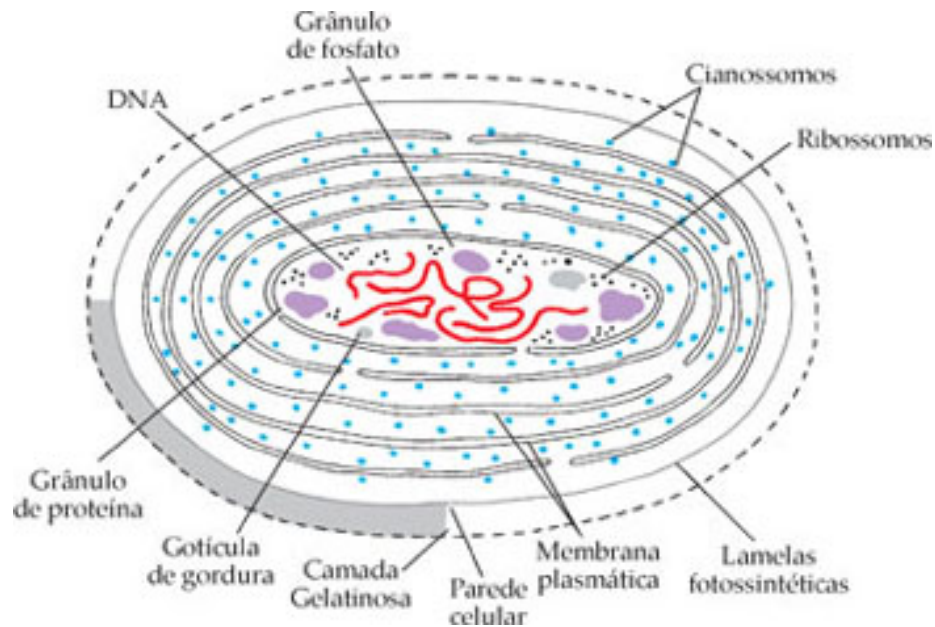
43. Guatemala. Ministerio de Ambiente y Recurso Naturales. Acuerdo Gubernativo 51-2010: Reglamento de vertidos para cuerpos receptores de la Cuenca del Lago de Atitlán y su entorno. Guatemala: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales; 2010.
44. Ayala RR. Delitos, faltas e infracciones ambientales. [tesis Abogado y Notario]. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales; 2008.



## 11. ANEXOS

Esquema 1

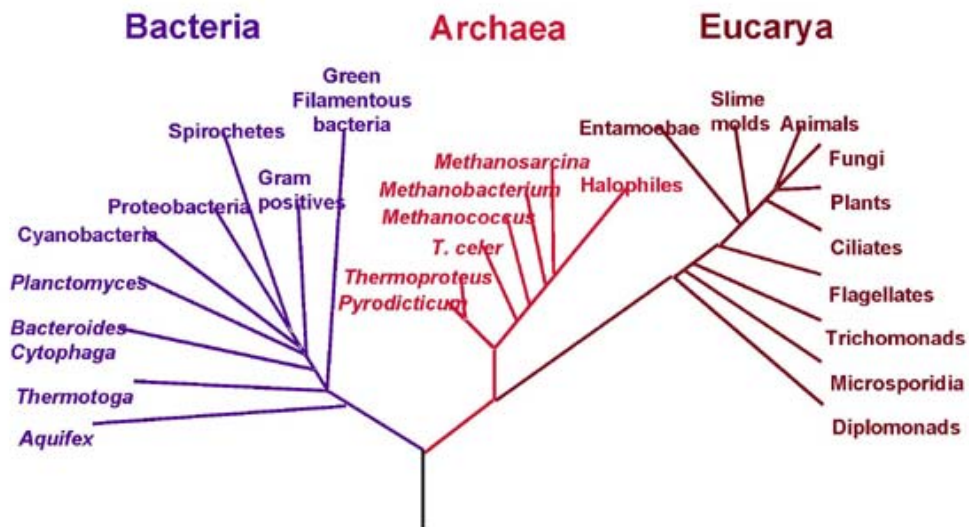
Estructura de una cianobacteria



Fuente: De León L. Floraciones algales de agua dulce: Cianobacterias, cianotoxinas. Su relación con la salud. Uruguay: Universidad de la República; 2006.

Esquema 2

Árbol filogenético de la vida



Fuente: Carr NG, Whitton BA. The biology of cyanobacteria. Londres: Blackwell Scientific Publications; 1982.



## **ANEXO 2**

### **INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

#### **CUESTIONARIO CCCb-11**

(Conocimiento de contaminación por cianobacteria 2011)

1. ¿Ha tenido usted información sobre las cianobacterias que actualmente se encuentra en el Lago de Atitlán?
2. Mencione las causas del crecimiento y multiplicación de las cianobacterias que usted conoce:
3. ¿Cuáles son los usos que conoce usted que los pobladores dan al agua del Lago de Atitlán?
4. ¿Cuál cree usted que es el origen del agua que los pobladores usan para realizar sus actividades cotidianas, según cada actividad?
5. ¿Cuáles son los métodos que usted conoce que los pobladores utilizan para la potabilización del agua extraída del Lago de Atitlán?
6. ¿Cuáles problemas de salud puede ser producido por el uso de agua contaminada por cianobacterias?
7. Mencione los programas que se enfoque en la prevención y resolución de los problemas de salud por el uso de agua contaminada por cianobacterias:
8. Mencione las acciones que han sido implementadas para reducir la proliferación de la cianobacteria:
9. ¿Qué acciones cree usted faltan para ser implementadas para reducir la proliferación de la cianobacteria?