

MONITOREO DE LA VEGETACIÓN ACUÁTICA EN EL LAGO ATITLÁN - 2018

Licda. Ana Isabel Arriola de León Régil (*Técnico en Manejo del tul*); MSc. Elsa María Reyes Morales (*Jefe del Depto. de Investigación y Calidad Ambiental*).

Introducción

El término *macrófitas*, *hidrófitas* o *plantas acuáticas* se refiere al grupo de plantas macroscópicas que tienen sus estructuras vegetativas creciendo permanente o periódicamente en ambientes acuáticos (Fig. 1). Las macrófitas incluyen macroalgas de las divisiones Chlorophyta, Xantophyta, Charophyta, Rhodophyta y Cyanobacteria; también Bryophyta, Pteridophyta y Spermatophyta (Thomaz *et al.*, 2011).

El papel de las plantas acuáticas dentro de los ecosistemas, es esencial. Entre sus funciones podemos mencionar: Modifican las características fisicoquímicas del agua y sedimentos; participan en los ciclos de los nutrientes; pueden formar parte del alimento de invertebrados y vertebrados, como biomasa viva y como detritus; proporcionan hábitat y/o sitios de reproducción a otros organismos como el plancton, peces, aves, entre otros; modifican la estructura espacial del paisaje acuático al aumentar la complejidad del hábitat; y poseen valor paisajístico (Posada García & López Muñoz, 2011; Thomaz *et al.*, 2011).

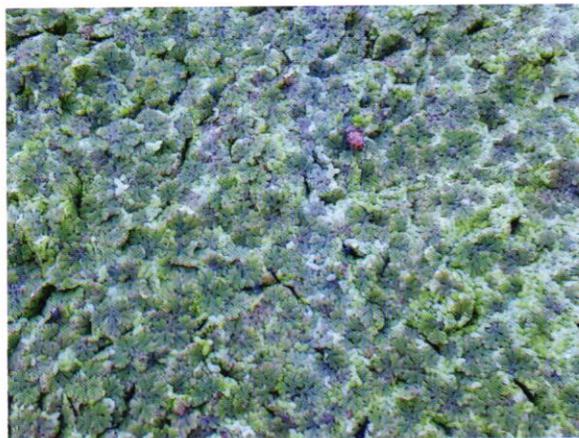


Figura 1 Helecho de agua *Azolla filiculoides* en el lago Atitlán (DICA/AMSCLAE, 2018).

Justificación

Debido a que las plantas acuáticas pueden utilizarse para evaluar el estado ecológico de un cuerpo de agua (Cirujano *et al.*, 2005), es importante conocer la composición y abundancia relativa de las principales especies de macrófitas que habitan en el lago Atitlán; para conocer la diversidad de vegetación acuática y para evaluar el efecto que los cambios, de origen natural y antropogénico, ocasionan en las comunidades vegetales.

Entre las funciones del Departamento de Investigación y Calidad Ambiental (Acuerdo Gubernativo 78-2012), se encuentra formular y ejecutar proyectos de investigación científica que permitan entender y atender mejor el complejo ecosistema lacustre y su cuenca hidrográfica, verificar el grado de avance técnico de los mismos y elaborar los informes técnicos que correspondan. Lo antes expuesto con el fin de proponer planes de manejo integrado de los recursos naturales del lago, promoviendo un uso sustentable de los mismos, beneficiando el medio ambiente y a los pobladores de la cuenca.

Objetivos

- Identificar las especies de plantas acuáticas presentes en 10 sitios de muestreo en el lago Atitlán.
- Evaluar los cambios en la abundancia y diversidad de la vegetación acuática a lo largo del año y en los últimos años; así como los posibles factores que influyen en esta variación.

Materiales y métodos

Área de estudio

Durante el 2018 se monitorearon 10 sitios ubicados en la zona litoral del lago Atitlán (Cuadro 1) (Fig. 2). Estos sitios se establecieron con base en las condiciones morfológicas y a las actividades que se realizan en la zona litoral. Estos fueron los mismos sitios que se evaluaron durante el 2016 en conjunto, e independientemente desde el 2013, con excepción del sitio ubicado en San Antonio Palopó, que fue cambiado a un sitio con mayor diversidad de plantas acuáticas.

Cuadro 1 Ubicación de los sitios de muestreo

Sitio de muestreo	Municipio	Coordenadas	
		X	Y
Quiscab	Sololá	426430	1630113
San Pablo	San Pablo La Laguna	416191	1627096
Uxlabil	San Juan La Laguna	415915	1625066
Fondo Bahía Santiago	Santiago Atitlán	418980	1615794
Isla de los Gatos	Santiago Atitlán	422511	1621463
Pahuacal - Cerro de Oro	Santiago Atitlán	428893	1621635
Tzanhucal - Cerro de Oro	Santiago Atitlán	429057	1621271
Entrada San Lucas	San Lucas Tolimán	430870	1616036
Relleno	San Lucas Tolimán	431143	1618358
San Antonio	San Antonio Palopó	433207	1625272

Fuente: DICA/AMSCLAE, 2018.

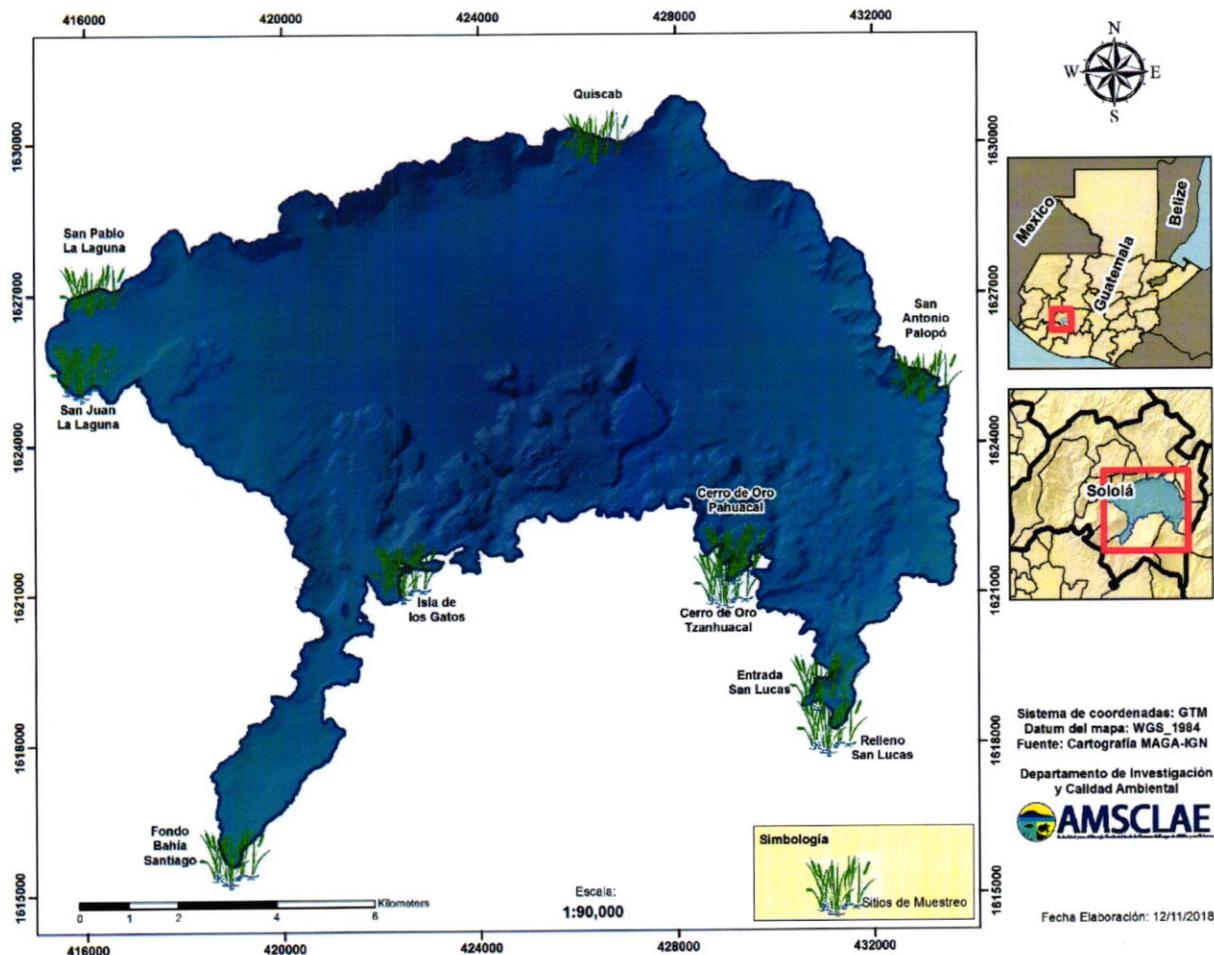


Figura 2 Ubicación de los sitios de muestreo (DICA/AMSCLAE, 2018).

Método

Para realizar el monitoreo de macrófitas, se utilizó la Metodología para el establecimiento del Estado Ecológico según la Directiva MARCO del Agua sobre los Protocolos de muestreo y análisis de macrófitas del 2005 (Cirujano *et al.*, 2005).

Frecuencia de muestreo

Durante el 2018 se realizaron tres muestreos (marzo, julio y noviembre).

Procedimiento

Con base en la Metodología para el establecimiento del Estado Ecológico según la Directiva MARCO del Agua, se realizó un transecto perpendicular a un punto específico en tierra, de aproximadamente 50 metros, tomando todas las especies de vegetación acuática que se encontraron. En cada sitio se anotó el nombre de cada especie, su abundancia relativa (Cuadro 2), se registraron parámetros fisicoquímicos *in situ* y se anotaron las condiciones medioambientales (Cirujano *et al.*, 2005). Se tomaron fotografías con ayuda de una cámara subacuática.

Cuadro 2. Escala de cobertura para la cuantificación de vegetación acuática

Escala	Abundancia de cada especie Descriptor	Porcentaje de cobertura (%) Clase
1	Rara	Individuos aislados
2	Ocasional	1 – 10 %
3	Frecuente	10 – 50 %
4	Abundante	50 – 70%
5	Muy abundante (dominante)	> 70 %

Fuente: Cirujano *et al.*, 2005.

Resultados y discusión

Abundancia y diversidad de macrófitas

Durante el 2018, se registraron 24 especies distribuidas en 18 familias (Cuadro 3). *Hydrilla verticillata* fue la especie más abundante, ya que se encontró en todos los sitios de muestreo. El tul macho *Schoenoplectus californicus* y el pashte *Ceratophyllum demersum* fueron de las especies que se registraron en nueve y ocho de los diez sitios de muestreo, respectivamente. Las especies menos abundantes, encontradas únicamente en un sitio de muestreo fueron *Habernaria repens*, *Chara sp.*, Fabaceae, *Egeria densa* y *Ludwigia octovalvis*.

Existen diversos factores, principalmente ambientales (*i.e.*, luz, temperatura del agua, composición del sedimento, disponibilidad de carbono inorgánico, entre otras) y sus interacciones. Ambos factores determinan, la presencia, productividad, distribución y composición de la comunidad de macrófitas en cualquier ecosistema. La temperatura y la luz son importantes para determinar la morfología y distribución, así como la productividad y la composición de especies. Los sedimentos son una fuente importante de nutrientes, principalmente nitrógeno, fósforo y micronutrientes, los cuales se encuentran relativamente menos disponibles en la superficie del agua en la mayoría de los ecosistemas acuáticos (Barko *et al.*, 1986).



Figura 3 *H. verticillata* en el lago Atitlán
(DICA/AMSCLAE, 2018).

Durante el 2018, la única especie que se encontró en todos los sitios de muestreo, con una abundancia relativa de cinco (muy abundante) fue *H. verticillata* (Fig. 3). *Hydrilla* es una de las plantas acuáticas invasoras que más problemas ha generado a nivel mundial. Esto puede deberse a su alta capacidad para adaptarse y a su gran tasa de crecimiento y de producción de semillas, así como, a la facilidad que posee para multiplicarse vegetativamente mediante fragmentación, formación de turiones y tubérculos (García Murillo *et al.*, 2009).

La *Hydrilla* es una especie invasora y ha sido catalogada por expertos como la “maleza acuática perfecta” por su capacidad para colonizar todos los ambientes donde es introducida (García Murillo *et al.*, 2009). Como en otros países, en el lago Atitlán esta planta ha generado problemas a la población para navegación y por colonizar zonas de recreación (playas) y servidumbre (muelles para desembarco). Durante el muestreo de noviembre, se encontró una mayor abundancia de *Hydrilla* en la mayoría de sitios de muestreo, incluso interfiriendo con el ingreso a algunos sitios de muestreo.

Durante el 2018, el tul macho *S. californicus* (Fig. 4) se encontró en nueve de los diez sitios de muestreo. Esta macrófita comúnmente se encuentra en humedales, orillas de ríos y desembocadura de arroyos. Está completamente adaptada al medio acuático y puede adaptarse y desarrollarse en suelos de inundación permanente. Debido a sus rizomas, son eficientes para retener nutrientes y de suelo, estabilizando la costa (Plan ceibal, s.f.). En el lago Atitlán, las hojas de esta planta se cortan, se secan y se tejen para hacer sopladores, petates y canastas. En algunas ocasiones se utilizan para amarrar cangrejos (de McVean, 2006). En Santiago Atitlán, esta es una planta cuyo manejo es una práctica ancestral y está a cargo del Comité de Tuleros del municipio.



Figura 4 *S. californicus* en el lago Atitlán
(DICA/AMSCLAE, 2018).



Figura 5 *Ceratophyllum demersum* en el lago Atitlán (DICA/AMSCLAE, 2018).

El “pashte” *Ceratophyllum demersum* se registró en siete de los diez sitios de muestreo, por lo que fue la tercera especie con mayor presencia durante los muestreos. *C. demersum* es una planta cosmopolita, casi totalmente sumergida, flotante y sin raíces, con hojas de color verde oscuro dispuestas alrededor del tallo, con segmentos lineares filiformes, anchos, ásperos, denticulado-espinosos (Fig. 5). Se encuentra asociada a aguas eutróficas, lentas o con poca corriente, turbias y profundas (Giménez, 2009; García Murillo *et al.*, 2009; Best, 1981).

De las 18 familias identificadas durante el 2018, Araceae fue la más diversas con cuatro especies reportadas (Cuadro 4). Las familias Hydrocharitaceae, Potamogetonaceae y Ciperaceae presentaron dos especies cada una, y el resto de familias únicamente una especie (Fig. 6). La familia Araceae incluye una amplia gama de formas vegetales tanto terrestre como acuáticas, rupícolas, epífitas, con frecuencia hemiepífitas y geófitas, generalmente glabras, ampliamente distribuidas en las regiones tropicales, subtropicales y templadas del hemisferio norte de todos los continentes, menos en la Antártida. Algunos especímenes de esta familia sirven como alimento a poblaciones por lo que son cultivadas de forma artesanal (Croat & Acebey, 2015).

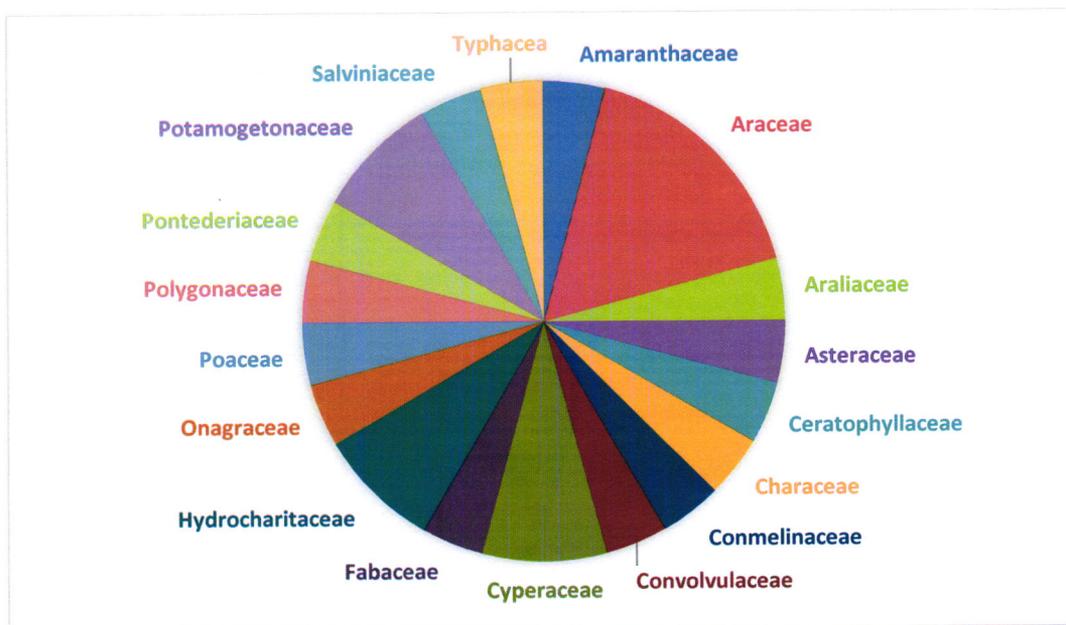


Figura 6 Composición de la vegetación acuática durante el 2018 (DICA/AMSCLAE, 2018).



Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL



Cuadro 3 Listado taxonómico de vegetación acuática y su presencia en cada sitio de muestreo durante el 2018. Emergente (E), Sumergida (S), Flotante libre (F), Asociada a vegetación acuática (A).

Familia/Especie	Estrato	Fondo Bahía			Isla de los		Quiscab	San Antonio	Uxlabil	Entrada	
		Relleno	Santiago	Pahuacal	Tzanhuacal	Gatos				San Lucas	San Pablo
Amaranthaceae											
<i>Habenaria repens</i>	E		X								
Araceae											
<i>Lemna valdiviana</i>	F		X			X					
<i>Spirodela polyrhiza</i>	F	X				X					
<i>Wolffia sp.</i>	F	X	X			X					
<i>Xanthosoma</i>	E	X									
Araliaceae											
<i>Hydrocotyle umbellata</i>	E					X			X		X
Asteraceae											
<i>Wedelia sp.</i>	E								X		
Ceratophyllaceae											
<i>Ceratophyllum demersum</i>	S	X	X	X		X			X	X	X
Characeae											
<i>Chara sp.</i>	S									X	
Commelinaceae											
<i>Commelina sp.</i>	E	X				X			X		
Convolvulaceae											
<i>Ipomoea</i>	A				X	X			X		
Cyperaceae											
<i>Cyperus sp.</i>	E	X	X		X	X			X		
<i>Schoenoplectus californicus</i>	E	X	X	X	X	X	X	X		X	X

Fuente: DICA/AMSCLAE, 2018.

Vía Principal 03-56, zona 2, Panajachel, Sololá, Guatemala, C.A. - PBX 502 – 79616464

www.amsclae.gob.gt



Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL



Cuadro 3 (continuación) Listado taxonómico de vegetación acuática y su presencia en cada sitio de muestreo durante el 2018. Emergente (E), Sumergida (S), Flotante libre (F), Asociada a vegetación acuática (A).

Familia/Especie	Estrato	Relleno	Fondo Bahía Santiago	Pahuacal	Tzanhuacal	Isla de los Gatos	Quiscab	San Antonio	Uxlabil	Entrada San Lucas	San Pablo
Fabaceae											
Gen. Indet.	E				X						
Hydrocharitaceae											
<i>Egeria densa</i>	S					X					
<i>Hydrilla verticillata</i>	S	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Onagraceae											
<i>Ludwigia octovalvis</i>	E	X									
Poaceae											
<i>Phragmites sp.</i>	E		X	X			X		X	X	
Polygonaceae											
<i>Polygonum sp.</i>	E	X			X	X			X		X
Pontederiaceae											
<i>Eichhornia crassipes</i>	F	X	X								X
Potamogetonaceae											
<i>Potamogeton illinoensis</i>	S			X	X			X			
<i>Potamogeton pectinatus</i>	S			X	X		X	X			X
Salviniaceae											
<i>Azolla filliculoides</i>	F	X	X			X	X		X		X
Typhaceae											
<i>Typha domingensis</i>	E	X	X			X			X	X	

Fuente: DICA/AMSCLAE, 2018.

Vía Principal 03-56, zona 2, Panajachel, Sololá, Guatemala, C.A. - PBX 502 – 79616464

www.amsclae.gov.gt

Sitio 1 El Relleno

El sitio se encuentra ubicado en la bahía de San Lucas Tolimán en el área conocida como “el relleno” (Fig. 7). La morfología de la orilla es “aluvión”. El sitio está fuertemente impactado por actividades de origen antropogénico ya que en la orilla se encuentran los lavaderos públicos de San Lucas, así mismo, regularmente personas lavan ropa en la orilla del lago en este sitio. Al ubicarse en una bahía, el sitio está protegido de la acción del viento y corrientes. El sitio presentó en promedio una temperatura de 22.9 °C, 8.0 mg/L de oxígeno disuelto, 479 µS/cm de conductividad, 230 mg/L de sólidos disueltos totales y 9.0 de pH.



Figura 7 Sitio “El Relleno” (DICA/AMSCLAE, 2018).

Durante el 2018 se registraron 13 especies, de las cuales *H. verticillata* y *E. crassipes* fueron las más abundantes con una abundancia relativa de 5 (muy abundante). *A. filliculoides*, *T. domingensis* y *Wolffia sp.* reportaron una abundancia relativa de 4 (abundante). Las especies *C. demersum*, *L. octovalvis* y *Spirodela polyrhiza* fueron organismos aislados (1). La diversidad de plantas acuáticas en este sitio, ha variado a lo largo del tiempo. En el 2014 se registraron 13 especies, posteriormente en los años 2016, 2017 y 2018 fueron seis, nueve y 13 especies respectivamente (Fig. 8). En 2015 no se muestreó este sitio.

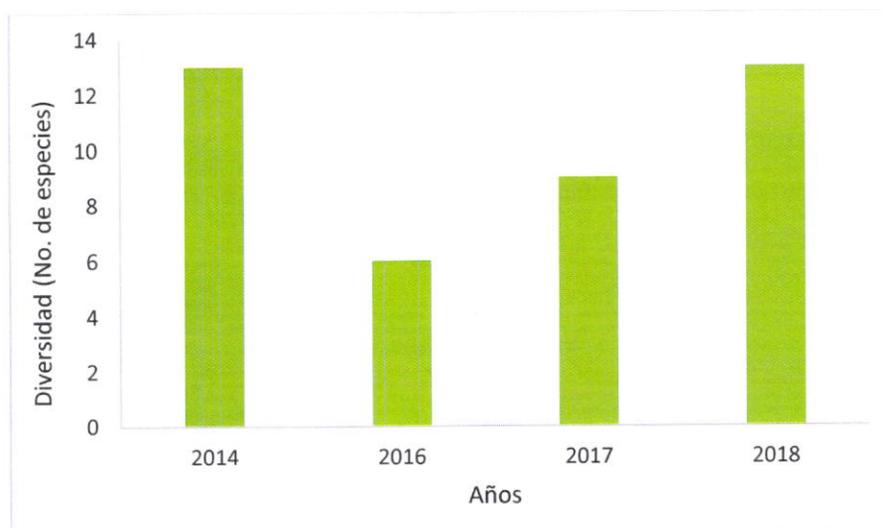


Figura 8 Diversidad de macrófitas en el sitio “El Relleno” durante los años 2014-2018 (DICA/AMSCLAE, 2018).

Sitio 2 Fondo Bahía Santiago

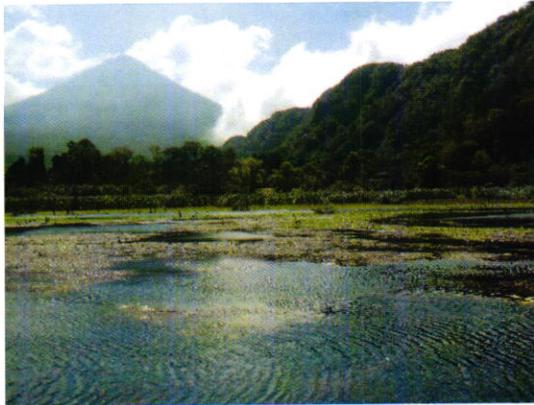


Figura 9 Sitio "Fondo Bahía de Santiago" (DICA/AMSCLAE, 2018).

El sitio se encuentra ubicado en la bahía de Santiago Atitlán (Fig. 9). La morfología de la orilla es "terreno con pendiente". Por ubicarse en una bahía, es un sitio protegido de la acción del viento y las corrientes. En este sitio se encuentra una de las poblaciones más grandes de tul, principalmente del tul hembra. En el sitio se reportó en promedio una temperatura de 22.3 °C, 9.0 mg/L de oxígeno disuelto, 472 μ S/cm de conductividad, 228 mg/L de sólidos disueltos totales y 9.1 de pH.

En este sitio de muestreo, se reportaron durante el 2018 un total de 11 especies. *H. vertillata*, *E. crassipes* y *T. domingensis* fueron los más abundantes con una abundancia relativa de 4 y 5 (abundante y muy abundante). *A. filiculoides* y *S. californicus* registraron una abundancia relativa de 3 (frecuente). *C. demersum*, *H. repens*, *Wolffia sp.* y *L. valdiviana* se encontraron como organismos aislados (abundancia relativa de 1). La diversidad en el tiempo en este sitio ha disminuido sustancialmente, ya que en 2014 se registraron 22 especies, mientras que, en los años 2016, 2017 y 2018 fueron 12, 15 y 11 especies respectivamente (Fig. 10). Este sitio no fue muestreado durante el 2015.

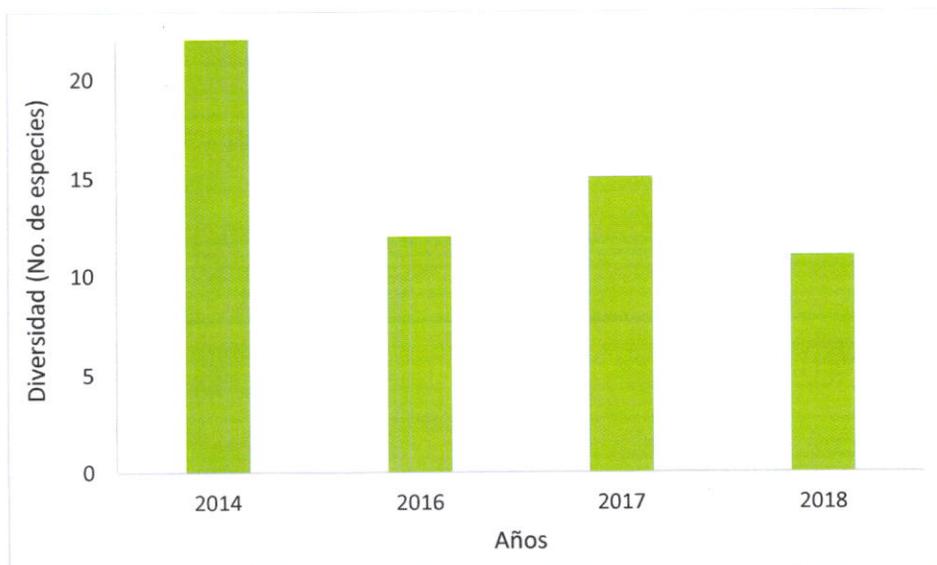


Figura 10 Diversidad de macrófitas en el sitio "Fondo Bahía Santiago" durante los años 2014-2018 (DICA/AMSCLAE, 2018).

Sitio 3 Pahuacal



Figura 11 Sitio “Pahuacal” (DICA/AMSCLAE, 2018).

El sitio de muestreo se encuentra ubicado en el cantón Pahuacal de la aldea Cerro de Oro, Santiago Atitlán (Fig. 11). La morfología de la orilla es de tipo “afloramiento rocoso”, es una zona protegida de la acción de vientos y corrientes y se encuentra rodeado por chalets. Es una zona poco impactada por actividades de origen antropogénico. En el sitio se reportó una temperatura de 22.3 °C, 9.2 mg/L de oxígeno disuelto, 469 μ S/cm de conductividad, 227mg/L de sólidos disueltos totales y 9.2 de pH.

Durante el 2018 se identificaron seis especies distintas de vegetación acuática en este sitio de muestreo. *H. verticillata* fue la más abundante con una abundancia relativa de 5 (muy abundante), *P. pectinatus* y *Phragmites sp.* reportaron una abundancia relativa de 4 (abundante). *C. demersum* se encontró como un organismo aislado (abundancia relativa de 1). Este sitio únicamente fue muestreado dos veces durante el presente año debido a que la gran abundancia de *H. verticillata* no permitió el ingreso de la lancha al sitio en julio. En Pahuacal, en el 2015 se encontraron seis especies distintas. Durante los años 2016, 2017 y 2018 se reportaron nueve, 12 y seis especies respectivamente (Fig. 12).

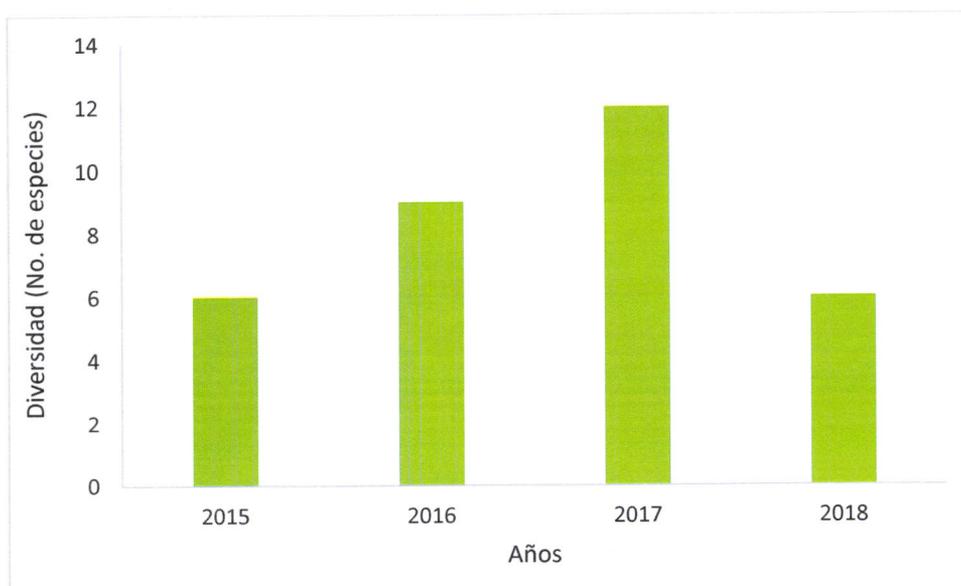


Figura 12 Diversidad de macrófitas en el sitio “Pahuacal” durante los años 2015-2018 (DICA/AMSCLAE, 2018).

Sitio 4 Tzanhuacal

El sitio de muestreo se encuentra ubicado en el cantón Tzanhuacal de la aldea Cerro de Oro, Santiago Atitlán (Fig. 13). La morfología de la orilla es de tipo “afloramiento rocoso”, es una zona protegida de la acción de vientos y corrientes, ya que se encuentra en una bahía. Es una zona poco impactada por actividades de origen antropogénico. En el sitio se reportó una temperatura de 23.1 °C, 9.6 mg/L de oxígeno disuelto, 483 μ S/cm de conductividad, 234 mg/L de sólidos disueltos totales y 9.2 de pH.



Figura 13 Sitio “Tzanhuacal” (DICA/AMSCLAE, 2018).

Durante el 2018, se registraron ocho especies de vegetación acuática. Las especies *H. vertillata*, *S. californicus* y *P. pectinatus* fueron las especies más abundantes con una abundancia relativa de 4 y 5 (frecuente y muy frecuente). *Polygonum sp.*, *Ipomoea sp.* y *Cyperus sp.* se encontraron como organismos aislados (1). En el 2014, en este sitio de muestreo se registraron nueve especies, en los años 2016, 2017 y 2018 se identificaron siete, 10 y ocho especies respectivamente (Fig. 14).

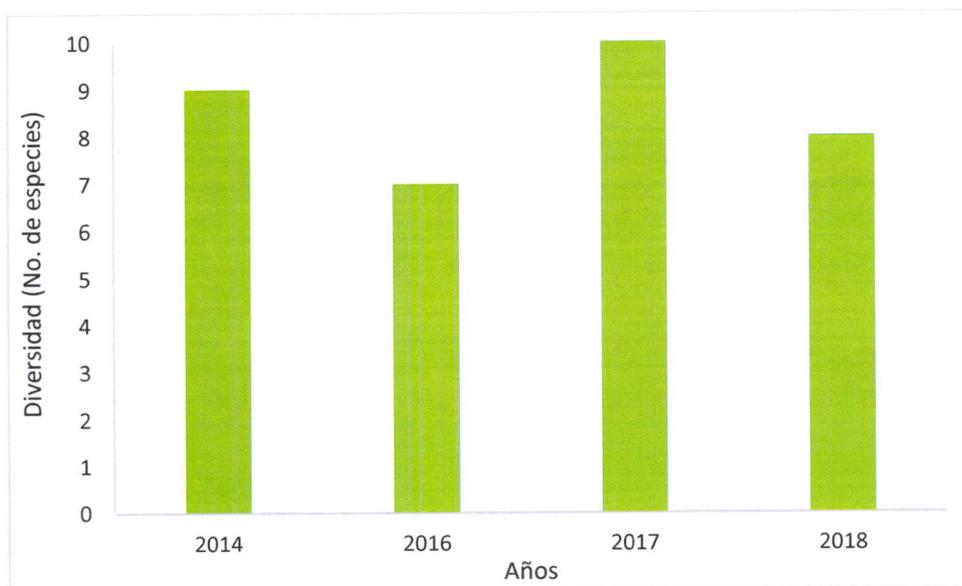


Figura 14 Diversidad de macrófitas en el sitio “Tzanhuacal” durante los años 2014-2018 (DICA/AMSCLAE, 2018).

Sitio 5 Isla de los gatos

El sitio se encuentra ubicado en una bahía de Santiago Atitlán (Fig. 15). La morfología de la orilla es “terreno con pendiente”. Es un sitio con una alta diversidad de vegetación acuática ya que se encuentra en un sitio protegido de la acción de los vientos y las corrientes. En el sitio se reportó una temperatura de 22.5 °C, 7.4 mg/L de oxígeno disuelto, 503 µS/cm de conductividad, 242 mg/L de sólidos disueltos totales y 8.6 de pH. En noviembre, se observó un aumento en la población de *H. verticillata* a tal grado que no fue posible ingresar en lancha al sitio de muestreo.



Figura 15 Sitio “Isla de los gatos” (DICA/AMSCLAE, 2018).

Durante el 2018 en este sitio de muestreo se reportaron un total de 14 especies, siendo *H. verticillata* la que presentó una abundancia de 5 (muy abundante). Las especies *T. domingensis*, *A. filiculoides*, *L. valdiviana* y *Wolffia sp.*, las que se registraron con una abundancia de 4 (abundante). *C. demersum*, *H. umbellata*, *S. californicus*, *E. densa*, *Polygonum sp.* e *Ipomoea sp.* se encontraron como organismos aislados (1). La diversidad de plantas acuáticas ha variado durante el tiempo; en el 2014 se registraron 13 especies, en los años 2016, 2017 y 2018 fueron 16, 12 y 14 respectivamente (Fig. 16). En el 2015 no se muestreó este sitio.

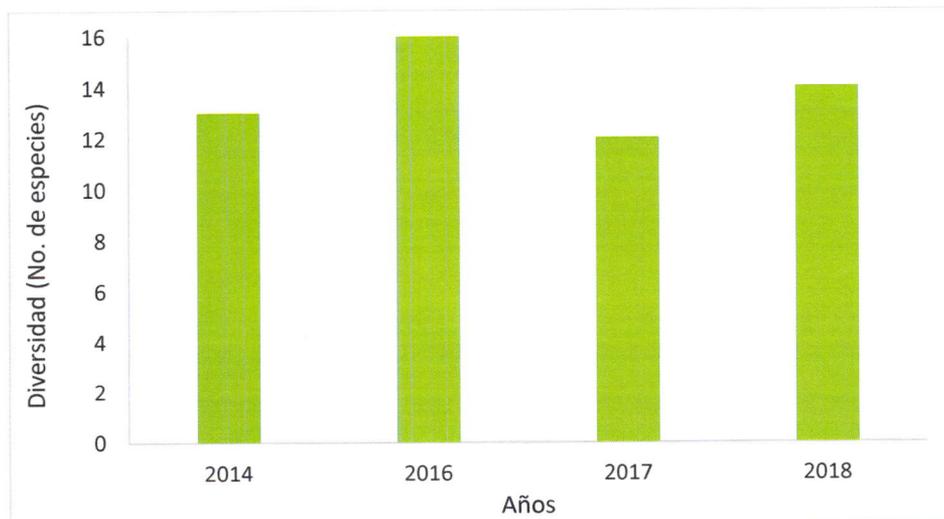


Figura 16 Diversidad de macrófitas en el sitio “Isla de los gatos” durante los años 2014-2018 (DICA/AMSCLAE, 2018).

Sitio 6 Quiscab

El sitio se encuentra ubicado al lado de la desembocadura del río Quiscab (Fig. 17). La morfología de la orilla es tipo “playa” y se encuentra fuertemente impactado por el río Quiscab, por las descargas de sedimentos y desechos sólidos que son arrastrados por el río y llegan al lago. Además, se encuentra afectado por las actividades de extracción de arena en el delta del río. En el sitio se reportó una temperatura de 22.1 °C, 7.3 mg/L de oxígeno disuelto, 482 µS/cm de conductividad, 233 mg/L de sólidos disueltos totales y 8.3 de pH.



Figura 17 Sitio de muestreo “Quiscab” (DICA/AMSCLAE, 2018).

En este sitio de muestreo se registraron cinco especies durante el 2018, siendo *Hydrilla verticillata* la que reportó la mayor abundancia (5). *Schoenoplectus californicus* y *Phragmites sp.* presentaron una abundancia de 4 (abundante); mientras que *P. pectinatus* y *A. filiculoides* se encontraron como organismos aislados (1). Se ha visto un cambio en la diversidad de las macrófitas con el tiempo, en 2015 se registraron cinco especies, en 2016, 2017 y 2018, fueron cuatro, tres y cinco especies respectivamente. Aunque se observó una disminución en los años 2016 y 2017, este año se registró el mismo número de especies que en 2015 (Fig. 18). Este sitio no fue muestreado en 2014.

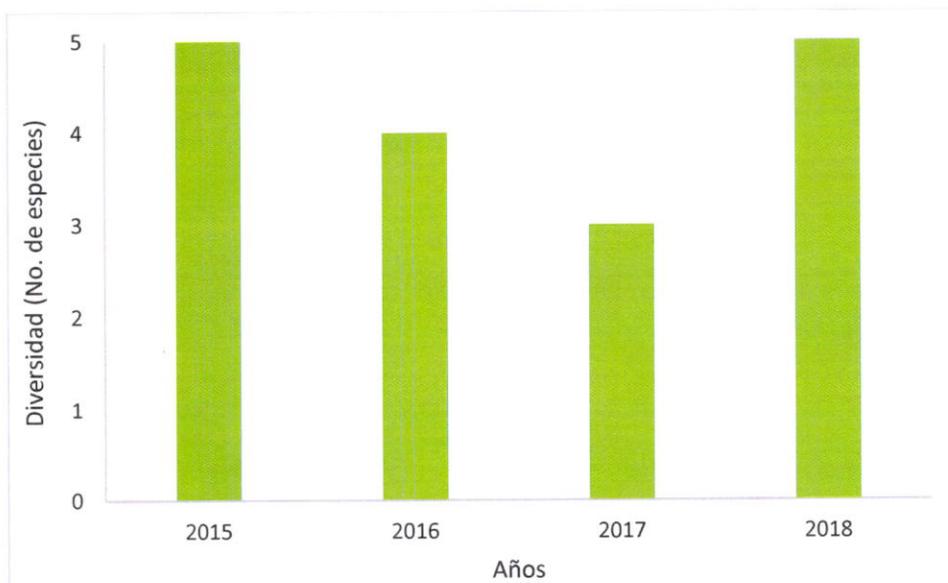


Figura 18 Diversidad de macrófitas en el sitio “Quiscab” durante los años 2014-2018 (DICA/AMSCLAE, 2018).

Sitio 7 San Antonio



Figura 19 Sitio “San Antonio” (DICA/AMSCLAE, 2018).

El sitio se encuentra ubicado cerca del límite municipal entre San Antonio y Santa Catarina Palopó. La morfología de la orilla es “terreno con pendiente” y se encontró una estructura sumergida (casa). El sitio está fuertemente impactado por el viento y existe cierta influencia de origen antropogénico debido a la presencia de cultivos de hortalizas en la orilla (Fig. 19). En el sitio se reportó una temperatura de 23.0 °C, 8.8 mg/L de oxígeno disuelto, 480 μ S/cm de conductividad, 232 mg/L de sólidos disueltos totales y 9.0 de pH.

En este sitio se registraron un total de cuatro especies durante el 2018. La única especie que se encontró como la más abundante (5 abundancia relativa) fue *H. verticillata*. El tul *S. californicus* y *P. illinoensis* se registraron como frecuente (3 abundancia relativa) y *P. pectinatus* se encontró como un organismo aislado (1). Este sitio fue reubicado este año, debido a que presentó una mayor diversidad de plantas acuáticas que el que estaba monitoreando con anterioridad. De igual manera en la figura 20, se puede observar el comportamiento de la diversidad de plantas acuáticas en los años anteriores.

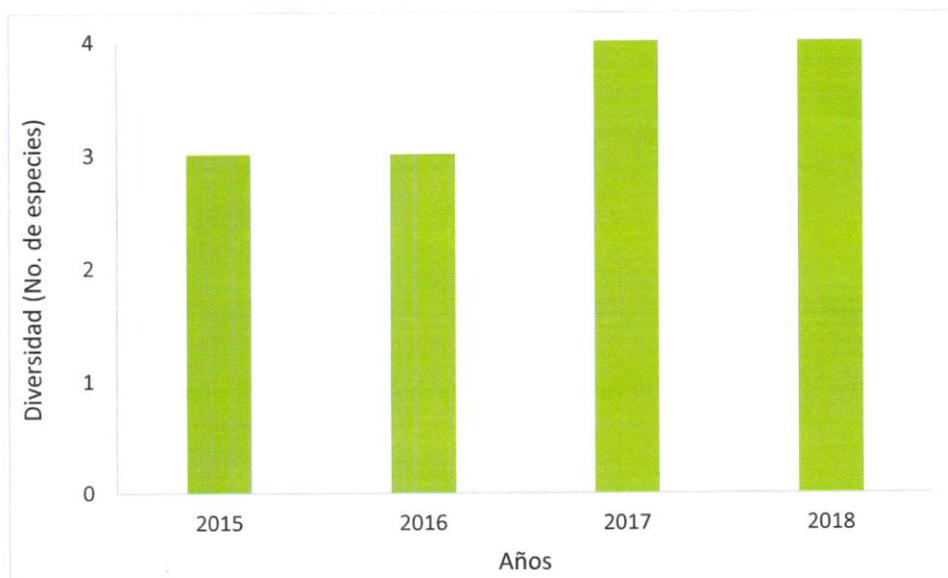


Figura 20 Diversidad de macrófitas en el sitio “San Antonio” durante los años 2014-2018 (DICA/AMSCLAE, 2018).

Sitio 8 Uxlabil

El sitio se encuentra ubicado en la bahía de San Juan La Laguna (Fig. 21). La morfología de la orilla es “terreno con pendiente”. Es un sitio protegido de la acción del viento, además de contar con algunas estructuras sumergidas que sirven de barrera física para protección de la vegetación acuática. En el sitio se reportó una temperatura de 22.3 °C, 7.6 mg/L de oxígeno disuelto, 483 μ S/cm de conductividad, 234 mg/L de sólidos disueltos totales y 8.9 de pH.



Figura 21 Sitio “Uxlabil” (DICA/AMSCLAE, 2017).

Durante el 2018, se registraron 11 especies en este sitio de muestreo. *H. verticillata* y *Typha domingensis* reportaron las mayores abundancias relativas (5), mientras que *Ipomoea sp.*, *Phragmites sp.*, *Polygonum sp.*, *Cyperus, sp.*, *Wedelia sp.* y *Conmelineaceae* se encontraron como organismos aislados (1 abundancia relativa). La diversidad en este sitio ha disminuido, lo que puede deberse a que este año se inició un cultivo de maíz justo en el sitio. En el 2015 se registraron 13 especies, mientras que, en los años 2016, 2017 y 2018 se encontraron 11, 15 y 11 respectivamente (Fig. 22).

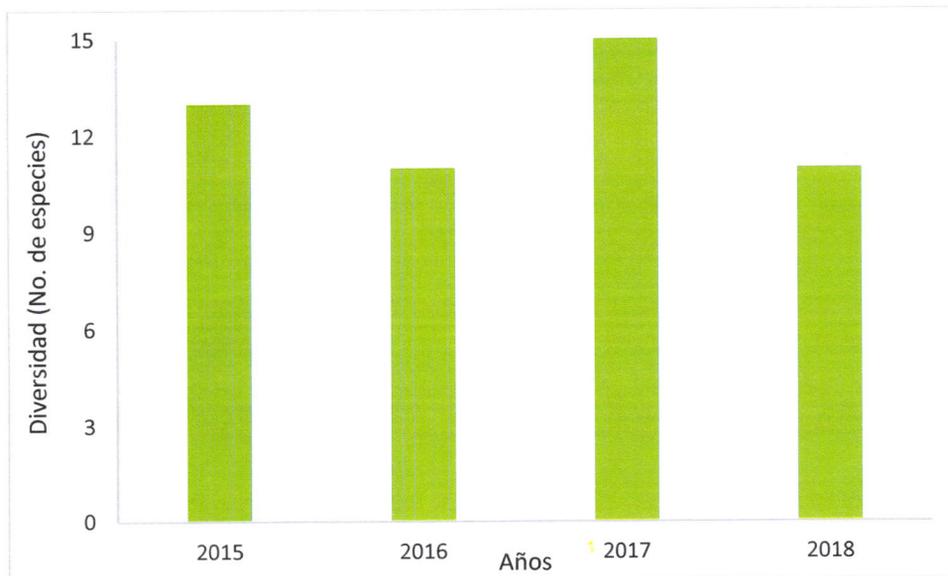


Figura 22 Diversidad de macrófitas en el sitio “Uxlabil” durante los años 2014-2018 (DICA/AMSCLAE, 2018).

Sitio 9 Entrada San Lucas

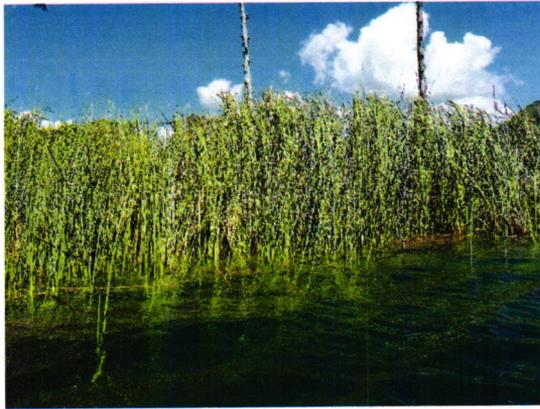


Figura 23 Sitio "Entrada San Lucas" (DICA/AMSCLAE, 2018).

El sitio se encuentra ubicado en la entrada de la bahía de San Lucas Tolimán (Fig. 23). La morfología de la orilla es "aluvión" y se encontraron estructuras sumergidas (muros de piedra). El sitio está fuertemente impactado por el viento y existe cierta influencia de origen antropogénico debido al bombeo de agua del lago para la comunidad. En el sitio se reportó una temperatura de 22.4 °C, 7.9 mg/L de oxígeno disuelto, 479 µS/cm de conductividad, 232 mg/L de sólidos disueltos totales y 9.0 de pH.

En este sitio de muestreo, se registraron seis especies durante el 2018. Las especies que se reportaron con la mayor abundancia (5) fueron *H. verticillata* y *S. californicus*. Las especies *C. demersum*, *Chara sp.*, y *Phragmites sp.* se encontraron como organismos aislados. Aunque la diversidad en este sitio de muestreo aumentó ligeramente en los años 2016 (ocho especies) y 2017 (siete especies), este año regresó al número de especies registradas durante el primer año (2015) que se muestreó este sitio (6 especies) (Fig. 24).

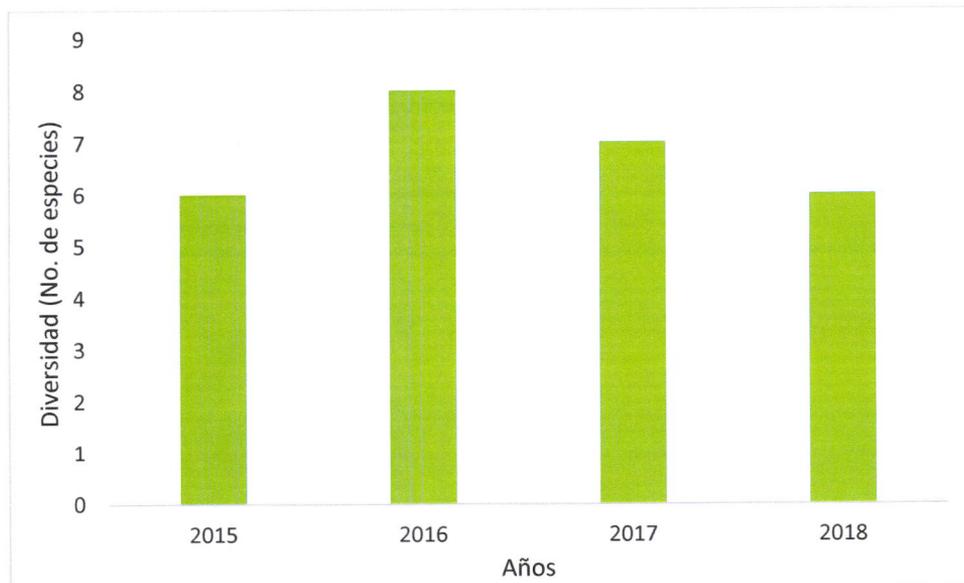


Figura 24 Diversidad de macrófitas en el sitio "Entrada San Lucas" durante los años 2014-2018 (DICA/AMSCLAE, 2018).

Sitio 10 San Pablo



Figura 25 Sitio de muestreo “San Pablo”
(DICA/AMSCLAE, 2018).

El sitio se encuentra ubicado en una pequeña bahía de San Pablo La Laguna (Fig. 25). La morfología de la orilla es “terreno con pendiente”. Es un sitio protegido principalmente del viento y las corrientes, por estar ubicado en una bahía. Dentro del área se encuentran varios troncos sumergidos. En el sitio se reportó una temperatura de 22.1 °C, 7.2 mg/L de oxígeno disuelto, 486 μ S/cm de conductividad, 235 mg/L de sólidos disueltos totales y 9.0 de pH.

Durante el 2018 se registraron ocho especies de plantas acuáticas en este sitio. *H. verticillata* presentó la mayor abundancia (5) durante todo el año y *S. californicus* una abundancia relativa de 4 (abundante). Las especies *Polygonum sp.*, *H. umbellata*, *E. crassipes*, *P. pectinatus* y *C. demersum* se encontraron como organismos aislados. En el 2015 en el sitio se encontraron ocho especies, en los años 2016, 2017 y 2018 se reportaron cinco, siete y ocho especies respectivamente, lo que significa que, aunque ha disminuido la diversidad de plantas acuáticas, aún se mantiene respecto al primer año de muestreo (Fig. 26).

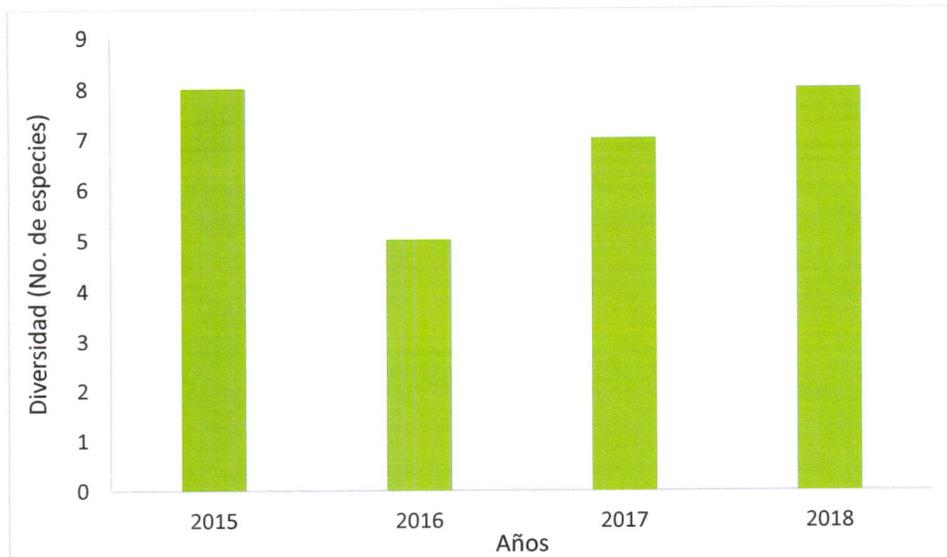


Figura 26 Diversidad de macrófitas en el sitio “San Pablo” durante los años 2014-2018 (DICA/AMSCLAE, 2018).

De forma general, la diversidad de vegetación acuática en el lago Atitlán ha disminuido a lo largo del tiempo (Fig. 27) (Anexo 1). Esto puede estar asociado a la degradación ambiental, disminución de la calidad de agua, impacto de las actividades antropogénicas en la zona litoral del lago (p.ej. extracción de vegetación acuática, construcción de chalets, construcción de muelles) y en las orillas del lago (p.ej. destrucción de la vegetación ribereña, expansión de la frontera agrícola), falta de interés en la conservación y manejo de las zonas litorales del lago, entre otras. Es importante mencionar que los sitios de muestreo no han sido los mismos desde el 2014, por lo que la variación de la diversidad de plantas acuáticas está influenciada por esto. Sin embargo, es necesario resaltar que en 2014 se registraron 28 especies y únicamente se muestrearon cuatro sitios, mientras que, en 2018, se registraron 24 especies en 10 sitios, por lo que la disminución de la biodiversidad de manera general, es evidente.

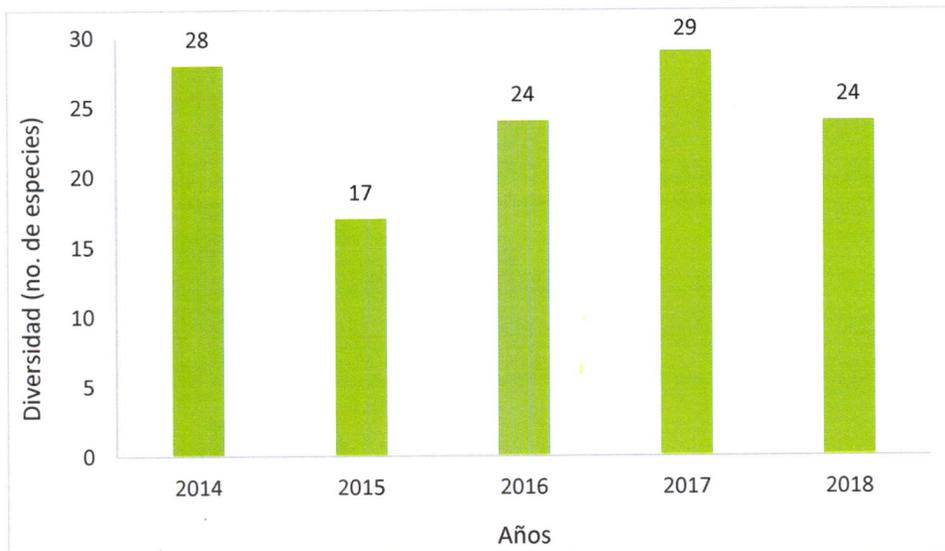


Figura 27 Diversidad de plantas acuáticas en el lago Atitlán durante los años 2014-2018 (DICA/AMSCLAE, 2018).

Macrófitas según su forma de vida

Según la forma de vida, durante el 2018 el 48% de las macrófitas identificadas son emergentes (11 especies), el 26% son sumergidas (6 especies), 22% son flotantes (5 especies) y 4% son asociadas a la vegetación (1 especie) (Fig. 28). Las plantas emergentes obtienen principalmente sus nutrientes de los sedimentos a través de sus raíces ya que se encuentran enraizadas al sustrato. Las plantas sumergidas arraigadas obtienen sus nutrientes del sustrato y/o del agua que habitan (Granéli & Solander, 1988), sin embargo, si éstos fueran limitados en el agua, pueden obtenerlos exclusivamente del sedimento (Barko *et al.*, 1986). La disponibilidad de nutrientes en el agua entonces, es un factor limitante para las plantas acuáticas sumergidas y no arraigadas al sustrato, y para las flotantes, más no para las fijas al sustrato, tanto sumergidas como emergentes.

Basados en lo anteriormente expuesto y conociendo que el lago Atitlán es un lago en transición de oligotrófico a mesotrófico, cuyas concentraciones de nutrientes no son altas; se puede inferir que el éxito de que el 74% de las plantas sean enraizadas (emergentes y sumergidas a excepción de *C. demersum*), es debido a que pueden obtener sus nutrientes del suelo, cuando estos fueren escasos en el agua.

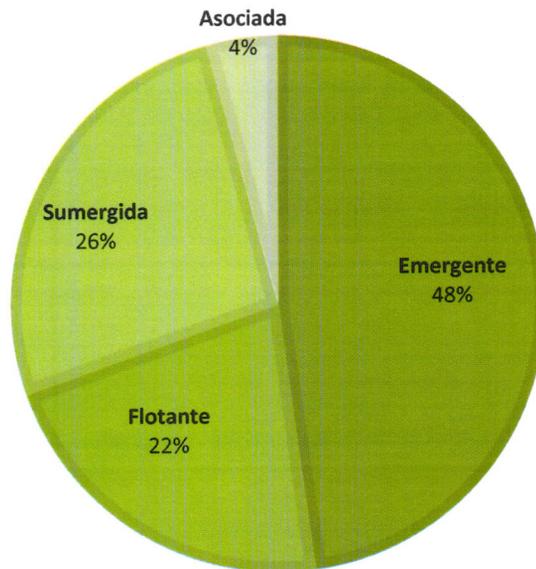


Figura 28. Composición de la vegetación acuática según su forma de vida (DICA/AMSCLAE, 2018).



Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL



Conclusiones

- Durante el 2018 se identificaron 24 especies distintas pertenecientes a 18 familias, siendo Araceae, Hydrocharitaceae, Potamogetonaceae y Ciperaceae las más diversas.
- Los sitios con mayor diversidad de vegetación acuática durante el 2018 fueron la Isla de los gatos con 14 especies, el Relleno con 13 especies, el Fondo de la Bahía de Santiago Atitlán y Uxlabil con 11 especies y Tzanhuacal y San Pablo con ocho especies. Los sitios Quiscab y San Antonio fueron los menos diversos ya que son los más perturbados.
- Las especies más abundantes durante el 2017 fueron *H. verticillata*, *S. californicus* y *C. demersum*, lo que puede estar asociado al nivel de tolerancia que estas especies a condiciones medioambientales, de calidad de agua y a sus estrategias reproductivas.
- En el 2018 las especies arraigadas (emergentes y sumergidas fijas al sustrato) fueron las más abundantes (74%), lo que puede deberse a que éstas pueden tomar sus nutrientes tanto del sustrato como del agua que las rodea.
- En el 2014 se registraron 28 especies de plantas acuáticas en cuatro sitios de muestreo, mientras que en 2018 se registraron 24 especies de plantas acuáticas en 10 sitios de muestreo, por lo que la disminución de la diversidad es evidente. Esto puede ser el resultado de la perturbación del ecosistema, la modificación de las orillas, la falta de un manejo integrado de la zona litoral y el crecimiento invasivo de *Hydrilla verticillata*, que desplaza a especies nativas.

Recomendaciones

- Continuar con el monitoreo de vegetación acuática en los sitios de muestreo ya establecidos, con el fin de evaluar la variación de la composición y abundancia de las comunidades de vegetación acuática, así como el efecto de las fluctuaciones del nivel del agua del lago en este importante componente del ecosistema.



Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL



Referencias bibliográficas

- Barko, JW., Adams, MS., y Clesceri, NL. (1986). *Environmental factors and their consideration in the management of submersed aquatic vegetation: a review*. J. Aquat. Plan Manage. 24: 1- 10.
- Best, EPH. (1981). *A preliminary model for growth of Ceratophyllum demersum L.* Verh. Intari. Berein. Limnol (21): 1484-1491. Stuttgart: Alemania.
- Cirujano, S; Cambra, J. y Gutiérrez, C. (2005). *Protocolo de muestreo y análisis para macrófitos*. Confederación Hidrográfica del Ebro: España.
- Croat, T. y Acebey, A. (2015). *Araceae*. Flora de Veracruz: México. ISSN 0187-425X.
- de McVean, AL. (2006). *Plantas útiles de Sololá Guatemala*. Universidad del Valle de Guatemala.
- García Murillo, P; Fernández Zamudio, R. y Cirujano Bracamonte, S. (2009). *Habitantes del agua macrófitos*. Agencia Andaluza del Agua, Junta de Andalucía: España.
- Giménez, PT. (2009). *Guía visual de campo Macrófitos de la Cuenca del Ebro*. Confederación Hidrográfica del Ebro (Ed.). España.
- Granéli, W. y Solander, D. (1988). *Influence of aquatic macrophytes on phosphorus cycling in lakes*. Suecia: Hydrobiologia 170: 245-266.
- Plan Ceibal. (s.f.). *Junco Schoenoplectus californicus* [en línea]. Recuperado 2016, 21 de octubre, de http://contenidos.ceibal.edu.uy/fichas_educativas/_pdf/ciencias-naturales/reino-vegetal/027-junco.pdf
- Posada García, JA. y López Muñoz, MT. (2011). *Plantas acuáticas del altiplano del oriente antioqueño, Colombia*. Universidad Católica de Oriente: Colombia.
- Presidencia de la República. (2012, 12 de abril). Reglamento de la Ley de Creación de la Autoridad para el Manejo Sustentable del lago de Atitlán y su entorno/ Decreto Gubernativo No. 78-2012. *Diario de Centro América*, p. 1-6.
- Thomaz, SM; Esteves, FA; Murphy, KJ; dos Santos, AM; Caliman, A. y Guariento, RD. (2011). *Aquatic macrophytes in the tropics: ecology of populations and communities, impacts of invasions and use by man*. Tropical Biology and conservation management: Vol. IV: Brasil.

Anexo 1 Listado taxonómico de plantas acuáticas en los años 2014-2018 en el lago Atitlán.

Especie	2014	2015	2016	2017	2018
<i>Alternanthera obovata</i>	X				
<i>Asclepia curaserica</i>	X		X	X	
Asteraceae		X			
<i>Azolla filliculoides</i>	X	X	X	X	X
<i>Bacopa sp.</i>	X			X	
<i>Ceratophyllum demersum</i>	X	X	X	X	X
<i>Chara sp.</i>	X	X	X		X
Chenopodiaceae	X				
Conmelinaceae				X	X
<i>Cyperus sp.</i>	X	X	X	X	X
<i>Eclipta prostrata</i>	X				
<i>Egeria densa</i>	X		X	X	X
<i>Eichhornia crassipes</i>	X	X	X	X	X
<i>Eleocharis sp.</i>	X			X	
Fabaceae	X		X	X	X
<i>Habenaria repens</i>	X		X	X	X
<i>Hydrilla verticillata</i>	X	X	X	X	X
<i>Hydrocotyle umbellata</i>	X	X	X	X	X
<i>Ipomoea</i>			X	X	X
<i>Lemna valdiviana</i>	X		X	X	X
<i>Ludwigia octovalvis</i>	X		X	X	X
<i>Solanum americanun</i>				X	
<i>Najas</i>	X				
<i>Phragmites sp.</i>		X	X	X	X
<i>Plantago major</i>				X	
Poaceae	X	X	X	X	
Polygonaceae	X			X	
<i>Polygonum sp.</i>	X	X	X	X	X
<i>Potamogeton illinoensis</i>	X	X	X	X	X
<i>Potamogeton pectinatus</i>	X	X	X	X	X
<i>Schoenoplectus californicus</i>	X	X	X	X	X
<i>Spirodela polyrhiza</i>	X		X	X	X
<i>Typha domingensis</i>	X	X	X	X	X
<i>Wedelia sp.</i>	X	X	X	X	X
<i>Wolffia sp.</i>	X	X	X	X	X
<i>Xanthosoma</i>					X

Fuente: DICA/AMSCLAE, 2018