

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL

MONITOREO DE LA VEGETACIÓN ACUÁTICA EN EL LAGO ATITLÁN

Octubre, 2020

Encargada: 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, Xanthophyta, 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 (Posada García & López Muñoz, 2011; Thomaz *et al.*, 2011):

1. Modificar las características fisicoquímicas del agua y sedimentos; participan en los ciclos de los nutrientes;
2. Forman parte del alimento de invertebrados y vertebrados, como biomasa viva y como detritus;
3. Proporcionar hábitat y/o sitios de reproducción a otros organismos como el plancton, peces, aves, entre otros;
4. Modificar la estructura espacial del paisaje acuático al aumentar la complejidad del hábitat; y poseen valor paisajístico

Existen diversos factores que determinan, la presencia, productividad, distribución y composición de la comunidad de macrófitas en cualquier ecosistema, principalmente ambientales (*i.e.*, luz, temperatura del agua, composición del sedimento, disponibilidad de carbono inorgánico, entre otras). 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).



DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL



Figura 1. Pashte (*Hydrilla verticillata*) en el lago Atitlán (DICA/AMSCLAE, 2020).

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 conservar y manejar las zonas litorales del lago Atitlán.

Objetivos

-) Identificar las especies de plantas acuáticas presentes en diez sitios de muestreo en el lago Atitlán.
-) Evaluar los cambios en la abundancia y diversidad de la vegetación acuática espacial y temporalmente; así como los posibles factores que influyen en esta variación.

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL

Materiales y métodos

Área de estudio

Durante el 2020 se monitorearon en julio y septiembre diez 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.

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
Tzanhuacal - Cerro de Oro	Santiago Atitlán	429057	1621271
Entrada San Lucas	San Lucas Tolimán	430870	1616036
El Relleno	San Lucas Tolimán	431143	1618358
San Antonio	San Antonio Palopó	433207	1625272

Fuente: DICA/AMSCLAE, 2020.

Descripción de los sitios de muestreo

Quiscab, Sololá

El sitio se encuentra ubicado al lado de la desembocadura del río Quiscab por lo que se encuentra fuertemente impactado por descargas de sedimentos y desechos sólidos que son arrastrados por el río.



DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL

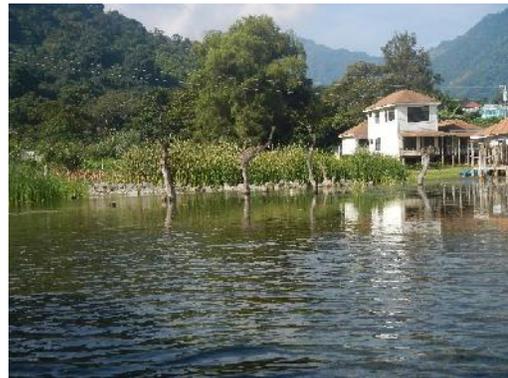
San Pablo La Laguna

El sitio se encuentra ubicado en una pequeña bahía de San Pablo La Laguna, y está protegido del viento y las corrientes.



Uxlabil, San Juan La Laguna

El sitio se encuentra ubicado en la bahía de San Juan La Laguna aledaño a zonas de cultivo



Bahía de Santiago Atitlán, Santiago Atitlán

El sitio se encuentra ubicado en la bahía de Santiago Atitlán. Por ubicarse en una bahía, es un sitio protegido de la acción del viento y las corrientes por lo que la diversidad de especies debería ser alto.



DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL

Isla de los gatos, Santiago Atitlán

El sitio se encuentra ubicado en una bahía de Santiago Atitlán. 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.



Pahuacal, Santiago Atitlán

El sitio de muestreo se encuentra ubicado en el cantón Pahuacal de la aldea Cerro de Oro, Santiago Atitlán y se encuentra rodeado por chalets. Durante el 2020 no se pudo acceder al punto de muestreo debido al descenso del nivel del agua del lago.



Tzanhuacal, Santiago Atitlán

El sitio de muestreo se encuentra ubicado en el cantón Tzanhuacal de la aldea Cerro de Oro, Santiago Atitlán. Durante el 2020 el acceso al punto de muestreo fue difícil debido al descenso del nivel del agua del lago.



DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL

San Lucas Tolimán, entrada

El sitio se encuentra ubicado en la entrada de la bahía de San Lucas Tolimán y está fuertemente expuesto a viento y existe cierta influencia de origen antropogénico debido al bombeo de agua del lago para la comunidad.



El Relleno, San Lucas Tolimán

El sitio se encuentra ubicado en la bahía de San Lucas Tolimán en el área conocida como “el relleno”. El sitio está fuertemente impactado por actividades humanas ya que en la orilla se encuentran los lavaderos públicos y/o regularmente personas lavan ropa en la orilla del lago.



San Antonio Palopó

El sitio se encuentra ubicado cerca del límite municipal entre San Antonio y Santa Catarina Palopó. El sitio está fuertemente impactado por el viento y existe cierta influencia humana debido a la presencia de cultivos de hortalizas en la orilla.



DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL

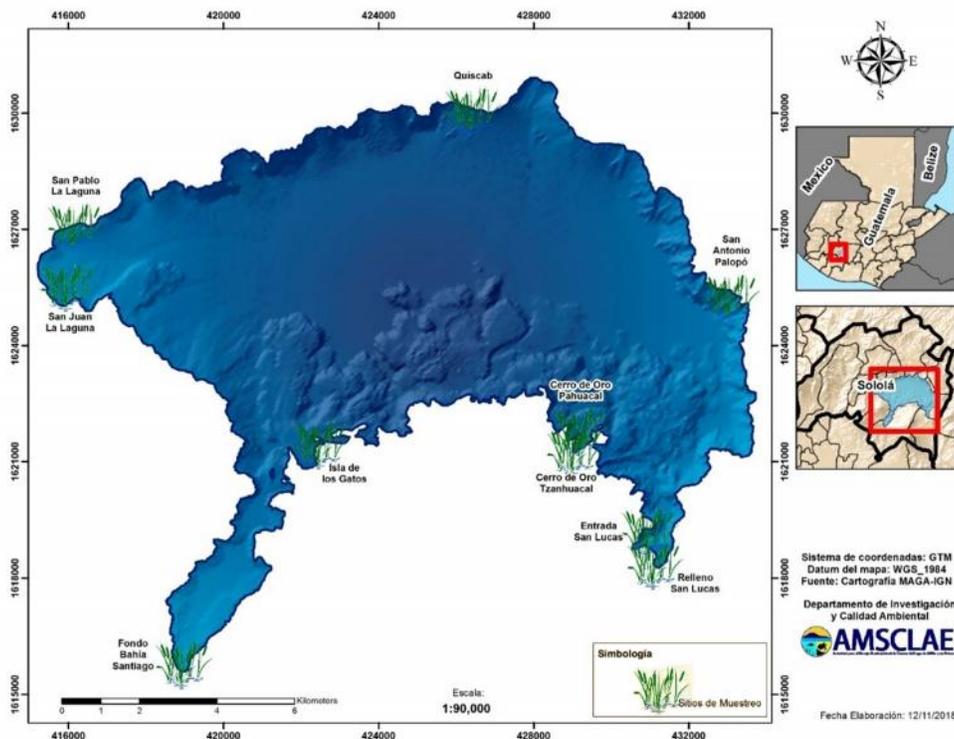


Figura 2 Ubicación de los sitios de muestreo (DICA/AMSCLAE, 2018).

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).

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.



DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL

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

Escala	Abundancia de cada especie	Porcentaje de cobertura (%)
	Descriptor	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 2020, se registraron 20 especies distribuidas en 14 familias (Cuadro 3). *Hydrilla verticillata* fue la especie más abundante y dominante, ya que se encontró en todos los sitios de muestreo. El tul macho *Schoenoplectus californicus* y el lirio acuático *Eichhornia crassipes* fueron las especies que se registraron en ocho y seis de los diez sitios de muestreo, respectivamente. Las especies estrictamente acuáticas que fueron encontradas únicamente en un sitio de muestreo fueron *Lemna*, *Spirodela*, *Bacopa*, *Egeria* y *Najas*. En el 2020 los sitios con mayor diversidad fueron San Juan La Laguna (Uxlabil), Isla de los Gatos (Santiago Atitlán) y San Pablo La Laguna (Cuadro 3).

H. verticillata 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, debido a que puede multiplicarse vegetativamente mediante fragmentación, formación de turiones y tubérculos (García Murillo *et al.*, 2009). Además, es una especie exótica que ha sido catalogada por expertos como la “maleza acuática perfecta” (García Murillo *et al.*, 2009). Como en otros países, en el lago Atitlán esta planta ha generado problemas a la población, tales como cierre de áreas para navegación, zonas de recreación (playas) y servidumbre (muelles para desembarco).

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL

Cuadro 3 Listado taxonómico de vegetación acuática y escala de cobertura en cada sitio de muestreo durante el 2020. (Fuente: DICA/AMSCLAE, 2020).

Familia	Taxa	Quiscab	Sn Pablo	Uxlabil	Santiago (Fondo)	Isla de los Gatos	Pahuacal	Tzanhuacal	Entrada San Lucas	El Relleno	Sn Antonio
Araceae	<i>Lemna valdiviana</i>					3					
	<i>Spirodela polyrhiza</i>					1					
	<i>Wolffia sp.</i>					1				1	
Araliaceae	<i>Hydrocotyle umbellata</i>			1		1					
Asteraceae	<i>Wedelia sp.</i>			1							
Ceratophyllaceae	<i>Ceratophyllum demersum</i>		1	1	1	2					
Characeae	<i>Chara sp.</i>							1	1		
Cyperaceae	<i>Cyperus sp.</i>		1	3	2	1					
	<i>Schoenoplectus californicus</i>	4	3		1		3	3	1	1	5
Hydrocharitaceae	<i>Egeria densa</i>					1					
	<i>Hydrilla verticillata</i>	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	<i>Najas</i>							1			
Plantaginaceae	<i>Bacopa sp.</i>					1					
Poaceae	Poaceae		1			1					
Polygonaceae	<i>Polygonum sp.</i>			1							
Pontederiaceae	<i>Eichhornia crassipes</i>		1	1	1	2			1	3	
Potamogetonaceae	<i>Potamogeton illinoensis</i>		1					1			1
	<i>Potamogeton pectinatus</i>							2			1
Salviniaceae	<i>Azolla filliculoides</i>			1		3					
Typhaceae	<i>Typha domingensis</i>			5	5	4			5	5	



DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL

El tul macho *S. californicus* comúnmente se encuentra en humedales, orillas de ríos y desembocadura de arroyos. Está completamente adaptado al medio acuático y puede 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.). Debido a su biología y ecología, además de que hay programas de siembra por varias instituciones y asociaciones, ha permitido que se mantenga su cobertura a lo largo de toda la zona litoral del lago Atitlán.

En la figura 3 se puede observar la variación espacial y temporal de la diversidad de especies desde el 2016 hasta la fecha en cada uno de los puntos de muestreo; en algunos puntos de muestreo es evidente la disminución de la biodiversidad.

De forma general, la diversidad de vegetación acuática estrictamente acuática en el lago Atitlán al igual que en cada sitio de muestreo, ha sido muy cambiante en los últimos siete años (Fig. 4) (Anexo 1). Esto puede estar asociado a la degradación ambiental, introducción y crecimiento excesivo de especies exóticas (p. ej., pasthe "*Hydrilla verticillata*"), oscilación del nivel del agua, disminución de la calidad de agua, alteración de la zona litoral, 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), cambio de las condiciones ambientales (e.i., temperatura del agua, pH, oxígeno disuelto), falta de interés en la conservación y manejo de las zonas litorales del lago, entre otras.

Es importante mencionar que los sitios de muestreo y la frecuencia de los muestreos 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 2020, se registraron 20 especies en 10 sitios, por lo que la disminución de la biodiversidad de manera general, es evidente (Anexo 1). Así mismo, ha habido especies que no se han vuelto a registrar en los últimos tres años.

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL

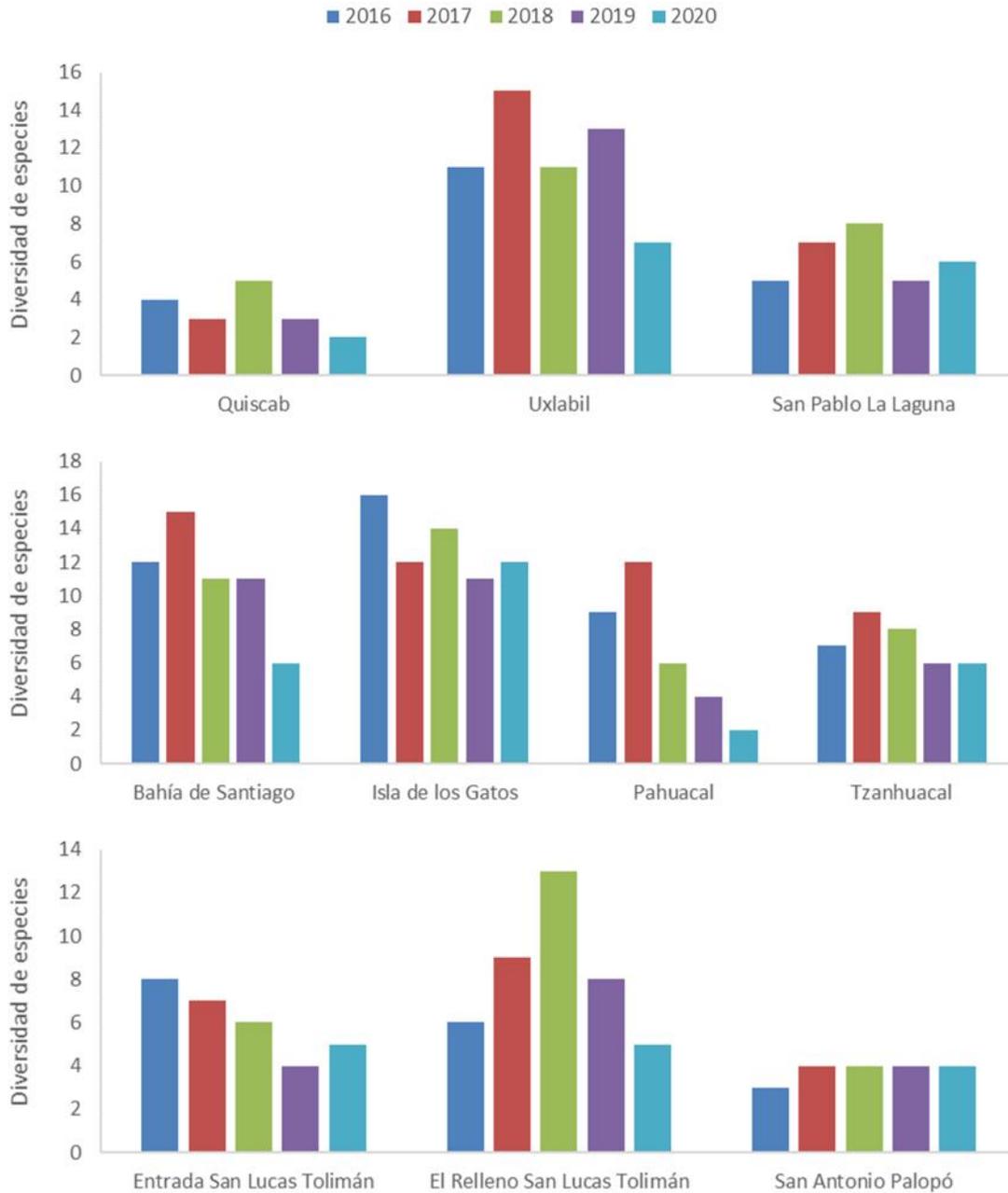


Figura 3. Variación espacial y temporal de macrófitas en los sitios de muestreo dentro del lago Atitlán.
(Fuente: DICA/AMSCLAE, 2020)



DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL

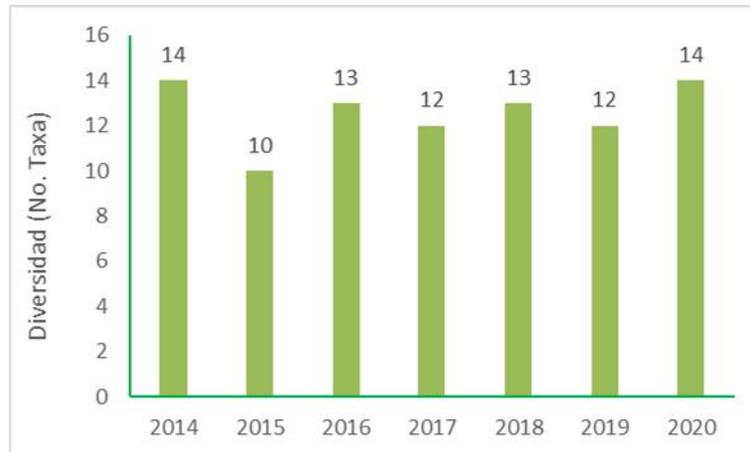


Figura 4. Diversidad de macrófitas estrictamente acuáticas en el lago Atitlán (DICA/AMSCLAE, 2020).

Las condiciones ambientales fueron similares a años anteriores, para el año 2020 la temperatura promedio fue 24 °C, el potencial de hidrógeno promedio fue 8.8, la conductividad promedio fue 449 $\mu\text{S}/\text{cm}$, los sólidos disueltos totales fueron 260 mg/L, el oxígeno disuelto promedio fue 8.5 mg/L y la saturación de oxígeno promedio fue 123 % (Anexo 2).

Conclusiones

La diversidad de especies de la flora acuática del lago Atitlán ha disminuido en los últimos años, esto puede estar influido por el cambio trófico del lago, la expansión de *H. verticillata* y el desplazamiento de especies nativas por ésta. La oscilación del nivel del lago, puede provocar un estrés en las especies nativas disminuyendo su cobertura, pero favorecer el desarrollo de *H. verticillata* aumentando su área de cobertura y dominancia en cada sitio de muestreo.

Es importante continuar con el monitoreo sistemático de la diversidad de las plantas acuáticas del lago Atitlán, espacial y temporalmente, para evaluar cambios en las comunidades acuáticas y sus efectos en el ecosistema. Las macrófitas manifiestan cambios en su comunidad frente a cambios físicos y químicos de su entorno, y esos cambios pueden ser considerados a medio y largo plazo como un indicador de las condiciones de calidad existentes en un entorno.

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL

Referencias consultadas

- 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. Berin. Limnol* (21): 1484-1491. Stuttgart: Alemania.
- Bucak, T., Saraoğlu, E., Ester, E. (et al.,) 2012 The influence of water level on macrophyte growth and trophic interactions in eutrophic Mediterranean shallow lakes: A mesocosm experiment with and without fish. *Freshwater Biology* 57(8): 1631-1642. DOI: 10.1111/j.1365-2427.2012.02825.x
- Cirujano, S; Cambra, J. y Gutiérrez, C. (2005). Protocolo de muestreo y análisis para macrófitos. Confederación Hidrográfica del Ebro: España.
- 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.
- 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.*
- Zhang XK, Liu XQ, Ding QZ. Morphological responses to water-level fluctuations of two submerged macrophytes, *Myriophyllum spicatum* and *Hydrilla verticillata*. *J Plant Ecol.* 2013; 6: 64–70.

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL

Anexo 1 Listado taxonómico de plantas acuáticas en los años 2014-2020 en el lago Atitlán.

Especie	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
<i>Alternanthera obovata</i>	x						
<i>Asclepia curasavica</i>	x		x	x			
Asteraceae		x					
<i>Azolla filliculoides*</i>	x	x	x	x	x	x	x
<i>Bacopa sp.**</i>	x			x			x
<i>Ceratophyllum demersum*</i>	x	x	x	x	x	x	x
<i>Chara sp.*</i>	x	x	x		x	x	x
Chenopodiaceae	x						
Conmelinaceae				x	x	x	
<i>Cyperus sp.**</i>	x	x	x	x	x	x	x
<i>Eclipta prostrata</i>	x						
<i>Egeria densa*</i>	x		x	x	x	x	x
<i>Eichhornia crassipes*</i>	x	x	x	x	x	x	x
<i>Eleocharis sp.**</i>	x			x			
Fabaceae	x		x	x	x	x	
<i>Habenaria repens**</i>	x		x	x	x	x	
<i>Hydrilla verticillata*</i>	x	x	x	x	x	x	x
<i>Hydrocotyle umbellata**</i>	x	x	x	x	x	x	x
<i>Ipomoea sp.</i>			x	x	x	x	
<i>Lemna valdiviana*</i>	x		x	x	x	x	x
<i>Ludwigia octovalvis**</i>	x		x	x	x		
<i>Solanum americanun</i>				x			
<i>Najas sp.*</i>	x						x
<i>Phragmites sp.**</i>		x	x	x	x	x	
<i>Plantago major</i>				x			
Poaceae	x	x	x	x		x	x
<i>Polygonum sp.</i>	x	x	x	x	x	x	x
<i>Potamogeton illinoensis*</i>	x	x	x	x	x	x	x
<i>Potamogeton pectinatus*</i>	x	x	x	x	x	x	x
<i>Schoenoplectus californicus*</i>	x	x	x	x	x	x	x
<i>Spirodela polyrhiza*</i>	x		x	x	x		x
<i>Typha domingensis*</i>	x	x	x	x	x	x	x
<i>Wedelia sp.</i>	x	x	x	x	x		x
<i>Wolffia sp.*</i>	x	x	x	x	x	x	x
<i>Xanthosoma sp.</i>					x	x	

* Especies estrictamente acuáticas

** Especies asociadas a cuerpos de agua

Fuente: DICA/AMSCLAE, 2020

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL

Anexo 2. Cuadro de valores de variables fisicoquímicas en los sitios de muestreo durante el 2020.

Localidad	Temp. (°C)	pH	Cond. (uS/cm)	TDS (mg/L)	OD (mg/L)	Sat. Oxi. (%)
Quiscab	24	8.69	477	238	7.26	104
San Pablo La Laguna	24.1	8.88	477	238	7.73	110
San Juan La Laguna	23.8	8.79	475	237	8.32	118.5
Bahía de Santiago Atitlán	23.7	8.88	471	235	8.86	125.8
Isla de los Gatos	24.7	8.82	482	244	10.87	157.5
Cerro de Oro Pahuacal	23.9	8.91	465	238	7.45	106.4
Cerro de Oro, Tzanhucal	25.1	8.85	469	235	10.11	147.7
Entrada, San Lucas Tolimán	24.2	8.92	463	234	9.74	139.8
San Lucas Tolimán, El Relleno	24.2	8.98	234	463	7.92	113.7
San Antonio Palopó	24.0	8.91	477	238	7.51	107.4

Temperatura (Temp.), Conductividad (Cond.), Sólidos disueltos totales (TDS), Oxígeno disuelto (OD), Saturación de oxígeno (Sat. Oxi.). (Fuente: DICA/AMSCALE, 2020)