DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL

MONITOREO DE LA VEGETACIÓN ACUÁTICA EN EL LAGO ATITLÁN

Octubre, 2021

Encargada: MSc. Elsa María de Fátima Reyes Morales (Jefe del departamento de investigación y calidad ambiental); Licda. Gabriela Dávila (Profesional en investigación de macrófitas y recurso hídrico).

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. Las macrófitas incluyen macroalgas de las divisiones Chlorophyta, Xantophyta, Charophyta, Rhodophyta y Cyanobacteria; también Bryophyta, Pteriodophyta 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 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).

Un parámetro que determina la distribución y riqueza de macrófitas es la presencia de bahías. Las bahías protegidas de los lagos pueden tener densas comunidades de plantas flotantes, las cuales suelen estar menos afectadas por las corrientes de agua o aire. Sin embargo, es importante que en un mismo lago existan muchas comunidades litorales, desde bahías protegidas del viento, hasta cabos rocosos expuestos a la fuerza de las olas (Moss, 2010) como lo es el caso del lago Atitlán.

Justificación

Las macrófitas tienen la capacidad de proveer sustrato para la colonización de algas y macroinvertebrados; afectan la química del agua, de los sedimentos y otras condiciones limnológicas. Además, influyen en los ciclos biogeoquímicos y productividad, así como en las interacciones bióticas dentro de los lagos. Por otra parte, las plantas acuáticas pueden cambiar en respuesta a los cambios en las condiciones del agua (Gasith & Hoyer, 1998). Por estas razones, la vegetación acuática es un factor que determina la estructura de la comunidad biótica y ecológica del lago Atitlán.

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.

Materiales y métodos

Área de estudio

Durante el 2021 se monitorearon en marzo, junio y septiembre diez sitios ubicados en la zona litoral del lago Atitlán (Cuadro 1) (Fig. 1). 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, 2021.

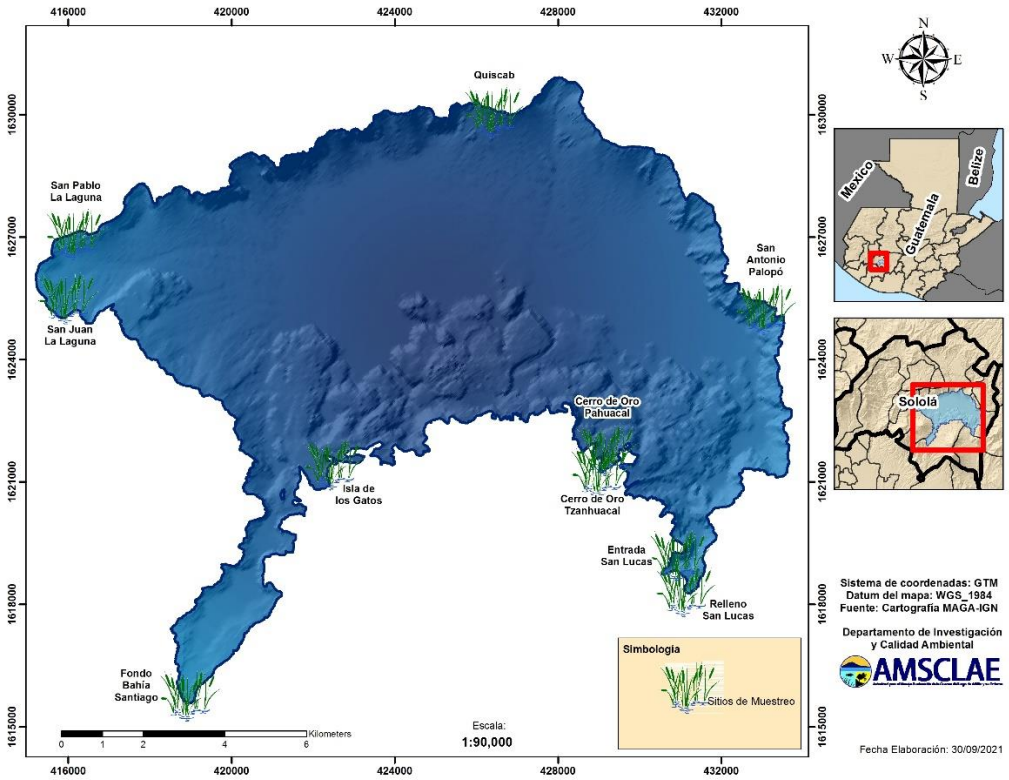

Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo (DICA/AMSCLAE, 2021).

Descripción de los sitios de muestreo

Quiscab, Sololá

El sitio se encuentra ubicado al lado de la desembocadura del río Quiscab. El sitio se caracteriza por una alta descarga de sedimentos y desechos sólidos, por lo que se encuentra fuertemente impactado. Existen partes erosionadas.

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. Parte del sitio es utilizado como zona de pesca, por lo que el acceso fue limitado en algunas ocasiones.

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.

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 vientos y corrientes.

Pahuacal, Santiago Atitlán

El sitio se encuentra en el cantón Pahuacal de la aldea Cerro de Oro. Se encuentra rodeado por chalets y el acceso ha sido limitado debido a esto mismo.

Tzanhuacal, Santiago Atitlán

El sitio de muestreo se encuentra ubicado en el cantón Tzanhuacal de la aldea Cerro de Oro.

San Lucas Tolimán, entrada

El sitio se encuentra ubicado en la entrada de la bahía de San Lucas Tolimán y está fuertemente expuesto a la acción del 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. Existe alta presencia de olores fétidos en la zona.

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.

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 macrófitos 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.

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%

Resultados y discusión

Abundancia y diversidad de macrófitas

Durante el 2021, se registraron 23 especies distribuidas en 16 familias (Cuadro 3). La especie que presentó mayor abundancia y dominancia fue *Hydrilla verticillata*, la cual fue registrada en todos los sitios de muestreo con gran cobertura. Los tules *Schoenoplectus californicus* y *Typha domingensis* fueron especies que se encontraron en nueve y siete de los sitios, respectivamente. Otras especies estrictamente acuáticas como *Eichornia crassipes* y *Ceratophyllum demersum* se encontraron en la mitad de los sitios de muestreo con abundancias bajas. En el caso de *E. crassipes*, todos los organismos presentaron inflorescencia. El resto de especies presentó baja cobertura, o se presentó en muy pocos sitios.

Cabe destacar que, en comparación del año 2020, hubo un aumento en la cobertura de especies flotantes (*Lemna valdiviana*, *Spirodela polyrhiza* y *Wolffia* sp.). Por otra parte, hubo especies estrictamente acuáticas que probablemente han existido en algunos sitios, pero que han sido cubiertas por *H. verticillata*, como es el caso de *C. demersum*, la cual se registró en tres sitios más durante este año, pero en poca abundancia, lo cual pone en evidencia la competencia entre especies.

En términos de diversidad, La isla de los gatos en Santiago Atitlán presentó mayor diversidad (13 especies), seguido de Uxlabil en San Juan La Laguna y San Pablo La Laguna (nueve y ocho especies, respectivamente) (Cuadro 3). El resto de sitios presentó menor diversidad, siendo Quiscab, el sitio con menor diversidad (dos especies). Algunos sitios presentaron especies no registradas anteriormente, como es el caso de Pahuacal, que presentó individuos aislados de *Chara* sp. y *Najas* sp.

H. verticillata o "pashte", como es comúnmente llamado, es una macrófita sumergida muy prolífica, originaria de Asia (Sousa, 2011). Fue introducida por el comercio de acuarios, y en la actualidad ha invadido extensas áreas (Mendoza, Luna y Aguilera, 2021). Posee una alta tasa de crecimiento y gran producción de semillas, debido a que puede multiplicarse vegetativamente mediante fragmentación, formación de turiones y tubérculos. Estas características proveen una enorme capacidad de adaptación a cualquier sistema acuático, por lo que esta especie exótica ha sido catalogada por expertos como la "maleza acuática perfecta" (García Murillo et al., 2009). Los daños al ecosistema incluyen amenazas a las especies nativas, además de afectar la subsistencia de los habitantes dificultando la navegación, la pesca y al turismo (Monterroso, Binimelis y Rodríguez-Labajos, 2011).

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. Los rizomas son eficientes para retener nutrientes del suelo, estabilizando la costa (Plan ceibal, s.f.). Debido a su biología, ecología, y de los programas de siembra, ha permitido que se mantenga su cobertura a lo largo de toda la zona litoral del lago Atitlán.

Cuadro 3. Listado taxonómico de vegetación acuática y escala de cobertura en cada sitio de muestreo durante el 2021. Escala: 1 (Rara); 2 (Ocasional); 3 (Frecuente); 4 (Abundante); 5 (Muy abundante)

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

En la figura 2 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. Se pudo evidenciar que la mayoría de sitios han disminuido su diversidad a lo largo de los años. No obstante, San Pablo La Laguna ha presentado un aumento en la diversidad, mientras San Antonio Palopó ha mantenido estabilidad en este sentido. Adicionalmente, los sitios de la bahía de Santiago (fondo), Pahuacal y Tzanhuacal (Cerro de Oro) y la entrada a San Lucas Tolimán son los sitios que han tenido una mayor oscilación de número de especies a lo largo del tiempo. Estos cambios podrían estar relacionados al nivel del lago y a la accesibilidad de los puntos de muestreo, que en algunas ocasiones ha sido difícil. Si se compara la diversidad de especies del año 2020 con el año 2021, San Pablo, Santiago (fondo), Pahuacal, Tzanhucal, la entrada a San Lucas Tolimán ha presentado un aumento en la diversidad, San Juan La Laguna ha disminuido, y Quiscab, la isla de los gatos, San Lucas Tolimán (el relleno) y San Antonio Palopó han mantenido su diversidad (Figura 3)

La diversidad de las especies estrictamente acuáticas se mantuvo estable entre el año pasado y el presente (Figura 3). Además, a pesar de mantener la diversidad, las abundancias han sido fluctuantes o en disminución, especialmente de las especies nativas. En cuanto al resto de especies asociadas, no se ha tenido registro de muchas de ellas desde hace dos a cuatro años (Anexo 1).

La disminución en la cobertura de las especies puede verse asociada a la degradación ambiental, la introducción y crecimiento excesivo de especies exóticas (*Hydrilla verticillata*), oscilación del nivel del lago, cambios en la calidad del agua, alteración natural y antropogénica de la zona litoral, ésta última caracterizada por la extracción y destrucción de vegetación acuática, aumento en infraestructura (chalets), expansión de frontera agrícola, entre otras actividades que afectan de manera indirecta.

Otros factores como el cambio en las condiciones ambientales del agua (temperatura, pH, oxígeno disuelto, etc.) y climáticas (cambios en temperatura ambiental, luz, vientos, precipitación y disponibilidad de nutrientes) pueden afectar el crecimiento y distribución de las macrófitas, las cuales responden de acuerdo a la especie o grupo de plantas. El impacto se manifestará en forma de alteraciones en la fisiología, el crecimiento y reproducción (Dhir, 2015), así como puede ocasionar impactos ecológicos en la estructura y función del lago Atitlán.

Es de suma importancia que exista un mayor interés en la conservación y manejo de las zonas litorales del lago. Además, es indispensable que se trabaje en educación ambiental, especialmente en la importancia de no retirar algunas especies que pueden reproducirse de forma vegetativa, es decir, que por ruptura pueden convertirse en organismos independientes que colonicen otras zonas (como en el caso de *H. verticillata*), así como la importancia de otras especies nativas que se encuentran en estado vulnerable por las condiciones actuales

Figura 2. Variación espacial y temporal de macrófitas en los sitios de muestreo dentro del lago Atitlán. (Fuente: DICA/AMSCLAE, 2021)

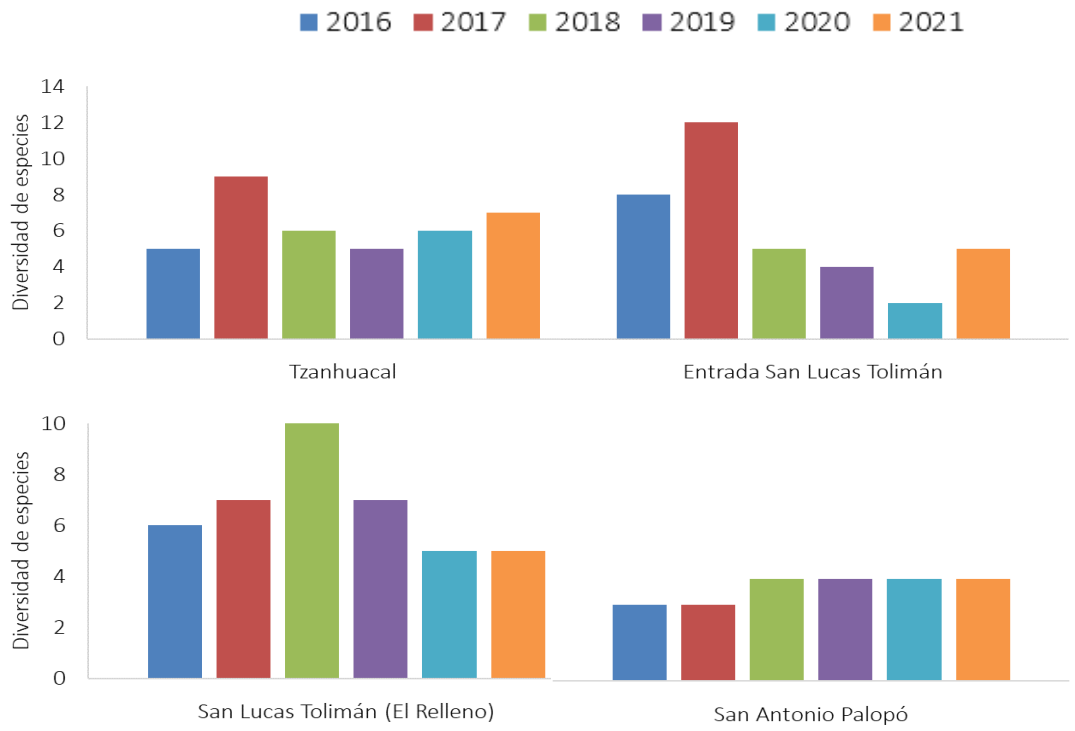

Figura 2 (Continuación). Variación espacial y temporal de macrófitas en los sitios de muestreo dentro del lago Atitlán. (Fuente: DICA/AMSCLAE, 2021)

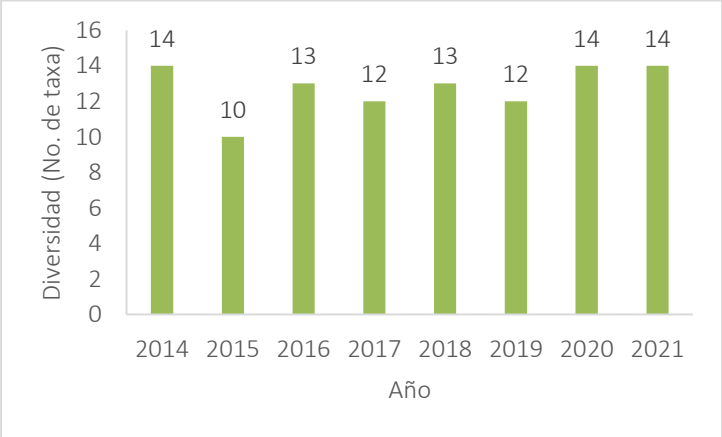

Figura 3. Diversidad de macrófitas estrictamente acuáticas en el lago Atitlán (DICA/AMSCLAE, 2021)

Las condiciones ambientales para el año 2021, la temperatura promedio fue de 22.8°C, el potencial de hidrógeno promedio fue de 8.79, la conductividad promedio fue 459, µS/cm, los sólidos totales disueltos fueron 226 mg/L, el oxígeno disuelto fue 8.33 mg/L y la saturación de oxígeno de 117% (Anexo 2).

Conclusiones y recomendaciones

Durante tres monitoreos de 2021 se registraron 23 especies de vegetación acuática. La diversidad de vegetación estrictamente acuática se ha mantenido del año 2020 a 2021. Los sitios más diversos fueron la Isla de los gatos (Santiago Atitlán), Uxlabil (San Juan La Laguna), y San Pablo la Laguna. Sitios que presentan un mayor impacto antrópico, como Quiscab, presentó menor diversidad debido a las condiciones de descarga del río.

Hubo un aumento en la cobertura de especies flotantes. No obstante, ha habido cambios en la cobertura de las especies nativas estrictamente acuáticas, especialmente las sumergidas (por ejemplo, *Ceratophyllum demersum*), las cuales se han visto afectadas negativamente por *Hydrilla verticillata*, especie exótica que compite por espacio y que ha cubierto gran área de la zona béntica del lago Atitlán, siendo ésta la especie dominante en el lago actualmente.

La potencial amenaza de la especie *H. verticillata* hacia la diversidad biológica nativa, la economía o la salud pública es evidente, en este contexto es necesario implementar acciones que prevengan su crecimiento excesivo, además de acciones de manejo en las zonas de servidumbre.

Es indispensable que se continúe con el monitoreo sistemático de la diversidad de las plantas acuáticas del lago Atitlán, de forma espacial y temporal, para evaluar los cambios en las comunidades acuáticas y sus efectos en los ecosistemas.

Se recomienda que en futuros monitoreos se realicen actividades de snorkel o buceo, con el objetivo de registrar si existen especies que se encuentren por debajo o entre *H. verticillata*. Esto permitiría evidenciar una de forma más clara la cobertura real de especies y el efecto de competencia en área. De esta forma, con la información generada poder enfocar esfuerzos para un manejo adecuado del recurso acuático para un mejoramiento a mediano y largo plazo.

Bibliografía

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.

Cirujano, S; Cambra, J. y Gutiérrez, C. (2005). Protocolo de muestreo y análisis para macrófitos.Confederación Hidrográfica del Ebro: España.

Dhir, B. (2015). Status of Aquatic Macrophytes in Changing Climate: A perspective. *Journal of Environmental Science and Technology. 8*(4). 139-148. DOI: 10.3923/jest.2015.139.148

García Murillo, P; Fernández Zamudio, R. y Cirujano Bracamonte, S. (2009). Habitantes del agua macrófitos. Agencia Andaluza del Agua, Junta de Andalucía: España

Gasith A., Hoyer M.V. (1998) Structuring Role of Macrophytes in Lakes: Changing Influence Along Lake Size and Depth Gradients. In: Jeppesen E., Søndergaard M., Søndergaard M., Christoffersen K. (eds) The Structuring Role of Submerged Macrophytes in Lakes. Ecological Studies (Analysis and Synthesis), vol 131. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-0695-8_29

Mendoza Alfaro, R., Luna, S., & Aguilera, C. (2021). Invasive species in Mexican Continental Aquatic ecosystems (Chapter7) in: Invasive Alien Species: Observations and issues from around the world. Volume 4: Issues and Invasions in the Americas and the Caribbean. DOI: https://doi.org/10.1002/9781119607045.ch40

Monterroso, I., Binimelis, R., & Rodríguez-Labajos, B. (2011). New methods for the analysis of invasion processes: Multi-criteria evaluation of the invasion of *Hydrilla verticillata* in Guatemala. *Journal of Environmental management. 92*(3). 494-507. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.09.017

Moss, B. (2010). Ecology Freshwater (4th edition). Wiley-Blackwell, West Sussex, United Kingdom.

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

Sousa, W.T.Z. (2011). Hydrilla verticillata (Hydrocharitaceae), a recent invader threatening Brazil´s freshwater environments: a review of the extent of the problem. *Hydrobiologia. 669*(1). https://doi.org/10.1007/s10750-011-0696-2

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 2014-2021 en el lago Atitlán.

Especie	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
*Azolla filliculoides**	■	■	■	■	■	■	■	■
Bacopa sp.**	■			■			■	■
*Ceratophyllum demersum**	■	■	■	■	■	■	■	■
Chara sp.*	■	■	■		■	■	■	■
Cyperus sp.**	■	■	■	■	■	■	■	■
*Egeria densa**	■		■	■	■	■	■	■
*Eichhornia crassipes**	■	■	■	■	■	■	■	■
Eleocharis sp.**	■			■				
*Hydrilla verticillata**	■	■	■	■	■	■	■	■
*Hydrocotyle umbellata***	■	■	■	■	■	■	■	■
*Lemna valdiviana**			■	■	■	■	■	■
*Ludwigia octovalvis***	■		■	■	■			■
*Najas**	■						■	■
Phragmites sp.**		■	■	■	■	■		
*Potamogeton illinoensis**	■	■	■	■	■	■	■	■
*Potamogeton pectinatus**	■	■	■	■	■	■	■	■
*Schoenoplectus californicus**	■	■	■	■	■	■	■	■
*Spirodela polyrhiza**	■		■	■	■		■	■
*Typha domingensis**	■	■	■	■	■	■	■	■
Wolffia sp.*	■	■	■	■	■	■	■	■

*Especies estrictamente acuáticas (Fuente: DICA/AMSCLAE, 2021)

**Especies asociadas a cuerpos de agua

Anexo 2. Valores promedio de los parámetros fisicoquímicos en los sitios de muestreo durante el 2021.

Localidad	Temp (°C)	pH	CE (uS/cm)	TDS (mg/L)	OD mg/L	Sat. Oxi. (%)
Quiscab	23.2	8.76	466	225	7.61	107
San Pablo La Laguna	23.5	8.77	469	226	7.71	109
San Juan La Laguna	23.5	8.79	468	225	7.04	100
Bahía de Santiago Atitlán	22.7	8.75	378	227	9.55	133
Isla de los Gatos	21.9	8.73	476	231	8.27	116
Cerro de Oro, Pahuacal	22.7	8.93	468	226	8.94	125
Cerro de Oro, Tzanhuacal	22.1	8.79	468	221	8.45	119
Entrada, San Lucas Tolimán	22.7	8.84	465	224	9.39	132
Bahia de San Lucas Tolimán, El Relleno	22.6	8.74	463	225	8.07	112
San Antonio Palopó	23.0	8.80	469	227	8.31	117

Temp. = Temperatura; CE: Conductividad eléctrica; TDS=Sólidos totales disueltos; OD = Oxígeno disuelto; Sat. Oxi. = Saturación de oxígeno. (Fuente: DICA/AMSCLAE, 2021)