



AMSCLAE

**INFORME ANUAL
CONSERVACIÓN Y MANEJO
DE LAS ZONAS LITORALES
DEL LAGO ATITLÁN**

2025



DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL

INFORME ANUAL

"CONSERVACIÓN Y MANEJO DE LAS ZONAS LITORALES DEL LAGO ATITLÁN, 2025"

Responsable: Inga. Agra. Irma Raquel González Turcios (Técnico en Manejo de tul); MSc. Elsa María de Fátima Reyes Morales, Jefe del departamento de investigación y calidad ambiental

INTRODUCCIÓN

El lago Atitlán es uno de los destinos más emblemáticos de Guatemala, constituye uno de los cuerpos de agua más representativos y de mayor valor ecológico, cultural y económico. Este ecosistema lacustre alberga en sus profundidades y zonas litorales gran diversidad de flora acuática, también conocida como hidrófitas o macrófitas, las cuales son plantas que viven en el agua, en suelo cubierto por agua o en suelos saturados de agua (Weaver y Clements, 1938, citado por Mazzeo, 2008). En su hábitat natural, estos se encuentran asociados a los márgenes de los lagos o en el interior de los mismos. Dentro de sus múltiples beneficios, la vegetación acuática permite la producción de oxígeno, el desarrollo de diferente tipo de fauna acuática y coadyuva a la filtración de nutrientes e impide el ingreso de desechos sólidos directamente al lago.



Figura 1. Plantas acuáticas *Ceratophyllum demersum* (izq), *Eichhornia crassipes* (der).

Fuente: (DICA/AMSCLAE, 2022)

Las plantas acuáticas son un grupo específico que se ha adaptado a vivir en el agua y su importancia debe juzgarse a partir de sus funciones ecológicas por ser productores primarios, oxigenadores de agua, formadores y estabilizadores de sedimentos (Mitchell, 1974; Novelo y Lot, 1989 citado en Rojas et al., 1995). Además, actúan como indicadores de la calidad del agua por su sensibilidad a las variaciones fisicoquímicas e hidromorfológicas del agua, las cuales pueden causar cambios cualitativos y cuantitativos en la estructura de los ecosistemas (Rojas et al., 1995).

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL

En el lago Atitlán, la vegetación acuática se encuentra en la zona litoral del lago, es decir, la zona de transición entre el medio acuático y terrestre. Esta vegetación se encuentra agrupada de acuerdo a su forma de vida:

- **Plantas emergentes:** Plantas enraizadas al sustrato con estructuras reproductivas por encima del agua. Se encuentran en suelos donde el nivel freático se encuentra a 50 cm o más de la superficie del suelo.
- **Plantas sumergidas:** Plantas unidas al sustrato con estructuras vegetativas totalmente sumergidas. Se localiza a profundidades de 1.5 m hasta el límite de la zona fótica del lago.
- **Plantas flotantes:** Plantas con sistema de raíces sumergido ancladas o no al sustrato del lago con estructuras vegetativas por encima del agua, por lo que el viento y las corrientes determinan su distribución. Se desarrollan en aguas tranquilas y superficiales.

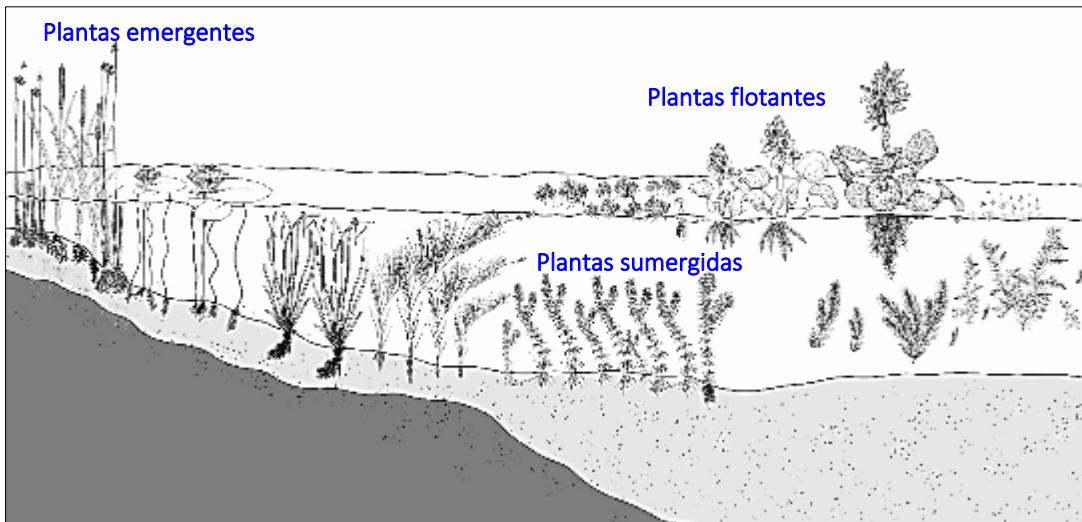


Figura 3. Formas de vida de las plantas acuáticas en el lago Atitlán. Fuente: DICA/AMSCLAE, 2022.

Por otra parte, entre la vegetación acuática se encuentra el tul, cuya forma de vida es emergente y se desarrolla de manera silvestre o cultivada. Actualmente se distinguen dos especies dentro del lago: *Schoenoplectus californicus* (tul macho) y *Typha domingensis* (Tul hembra). Esta planta proporciona hábitat, sitios de reproducción y refugio para peces, moluscos, crustáceos, macroinvertebrados y aves acuáticas; los cuales son aprovechados por la población local (Ujpán Mendoza, 2012; McVean, 2006).

En cuanto al tul (*Schoenoplectus californicus*), planta emergente en el ecosistema lacustre del lago Atitlán aporta múltiples beneficios que van desde funciones ecológicas esenciales hasta el aprovechamiento sostenible por parte de comunidades locales. Dentro de sus principales aportes destaca su rol como base de la cadena trófica y sitios de reproducción y refugio para una amplia diversidad de organismos acuáticos (Ríos Palencia, 2007; Giménez, 2009; Posada & López, 2011; Berger, 2008). Además, contribuye a la remoción de plaguicidas y metales pesados,

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL

convirtiéndolo en un filtro natural indispensable para mitigar los efectos de la contaminación, actúa como barrera natural frente a la erosión provocada por oleaje y vientos fuertes, además, retiene desechos sólidos impidiendo que ingresen directamente al cuerpo de agua. Por otra parte, se encuentra su valor cultural y económico, pues las fibras son utilizadas por las comunidades en la elaboración de artesanías, utensilios y objetos de carácter ceremonial, lo que refuerza su importancia en la identidad cultural de la región.



Figura 2. Tul macho (*Schoenoplectus californicus*) (izq), Tul hembra (*Typha domingensis*) (der)
Fuente: DICA/AMSCLAE, 2025.

No obstante, las plantas acuáticas, especialmente el tul, enfrenta serias amenazas derivadas de la variabilidad climáticas principalmente por las fluctuaciones del nivel del lago; pese a esta problemática, los esfuerzos de conservación y manejo sostenible han permitido la regeneración vegetativa en áreas degradadas; lo cual contribuye a la protección de la zona litoral del lago Atitlán.

En el año 2025, durante el monitoreo de vegetación acuática, se registró un total de 17 especies, siendo las más sobresalientes: *Hydrilla verticillata*, *Schoenoplectus californicus* y *Typha Domingensis*. En cuanto a la restauración de la zona litoral, la siembra de tul abarcó un total de 1,020 metros lineales; mientras que las áreas podadas abarcaron un total de 1,344 m², las cuales fueron realizadas en los municipios de Santa Catarina Palopó y San Marcos la Laguna. Estos esfuerzos reflejan el compromiso institucional para preservar la diversidad de flora acuática, principalmente de los servicios ecosistémicos otorgados por la planta de tul, además de fortalecer la resiliencia ambiental del lago Atitlán.



JUSTIFICACIÓN

la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno (AMSCLAE), a través del Departamento de Investigación y Calidad Ambiental (DICA) de conformidad con lo establecido en el Acuerdo Gubernativo 78-2012, tiene dentro de sus funciones: “Evaluar los estudios, planes y programas que tiendan a mejorar la calidad y cantidad de los recursos naturales de la cuenca; la conservación integral de la biodiversidad, estableciendo criterios para el manejo sostenible de los mismos”, así como “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”. En cumplimiento con lo establecido, DICA ha incorporado dentro de sus acciones la conservación y manejo de las zonas litorales del lago Atitlán a través de las actividades siguientes:

- a) Monitoreo de vegetación acuática, el cual consiste en estimar su riqueza y abundancia en diez (10) sitios previamente seleccionados distribuidos alrededor de toda la zona litoral del lago Atitlán, además de identificar el componente ambiental y las acciones humanas que afectan su distribución y presencia.
- b) Restauración de la zona litoral, a través de las actividades de siembra y poda de tul, como estrategia para garantizar la sostenibilidad del ecosistema acuático.

Estas actividades permiten la cooperación interinstitucional, promover la educación ambiental y fomentar la participación de diversos sectores sociales en pro de la conservación del ecosistema acuático y la sostenibilidad de los servicios ambientales proporcionados a las poblaciones.

OBJETIVOS

- a) Identificar las especies y distribución de las plantas acuáticas presentes en el lago Atitlán, así como su riqueza y abundancia.
- b) Identificar el impacto de las actividades humanas y las variaciones climáticas en la presencia y riqueza de plantas acuáticas en el lago Atitlán.
- c) Registrar las intervenciones de manejo de tul y sitios priorizados.
- d) Evaluar el aporte de las intervenciones de manejo de tul en la conservación y manejo sostenible de la zona litoral del lago Atitlán.



METODOLOGÍA

• Área de estudio

El lago Atitlán es uno de los cuerpos de agua más importantes de la República de Guatemala y uno de los accidentes hidro geográficos más importantes en el departamento de Sololá. se encuentra a una altura de 1,562 msnm con una superficie de 130 Km² y una longitud de 18 Km; se encuentra custodiado en sus márgenes por los volcanes Atitlán (3,537 msnm), Tolimán (3,158 msnm) y San Pedro (3,020 msnm). El lago Atitlán presenta una profundidad máxima de 327.56 m y se estima que el volumen de agua es de 25.46 Km³ (Reyes et al., 2017). La ribera del lago presenta una forma ovalada de 21 x 18 Km con dos bahías que corren en dirección al sur. Los cuatro afluentes principales son los ríos San Francisco, Quiscab, San Buenaventura y La Catarata; todos ubicados en la parte norte del lago.

Los municipios que se encuentran en la parte litoral del lago son Panajachel, Santa Catarina Palopó, San Antonio Palopó, San Lucas Tolimán, Santiago Atitlán, San Pedro La Laguna, San Juan La Laguna, San Pablo La Laguna, San Marcos La Laguna y Santa Cruz La Laguna.

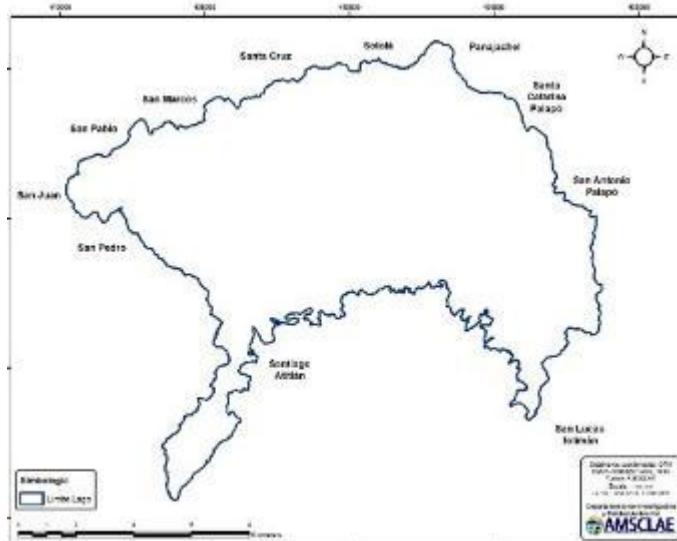


Figura 4. Área de estudio. Zona litoral del lago Atitlán.

Fuente: DICA/ AMSCLAE, 2025

a) Metodología: Monitoreo de vegetación acuática

• Elección de áreas de monitoreo

La AMSCLAE realiza el monitoreo de vegetación acuática como parte del programa de seguimiento ambiental del lago Atitlán. La metodología aplicada se basa en lineamientos descritos en *Cirujano et al.*, (2005), "Metodología para el establecimiento del Estado Ecológico según la Directiva Marco del Agua – Protocolos de muestreo y análisis para macrófitos", adaptada a las condiciones locales del lago Atitlán.

La elección de áreas para el monitoreo se realizó tomando en cuenta, principalmente, los siguientes criterios:



DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL

- **Accesibilidad y seguridad de los puntos de muestreo:** Se priorizaron aquellos lugares en la zona litoral que permitieran un acceso seguro por vía terrestre y acuática, asegurando la viabilidad logística y la continuidad del muestreo a lo largo del tiempo.
 - **Representatividad de condiciones ambientales y presión antrópica:** Se incluyeron tanto bahías abiertas (expuestas al oleaje y viento) como bahías cerradas (con menor impacto de agua y viento, y mayor acumulación de nutrientes); con el fin de representar distintos grados de impacto y características ecológicas del lago.
 - **Morfología litoral:** Se seleccionaron áreas con diferente pendiente, tipo de sustrato y cobertura vegetal, para reflejar la heterogeneidad espacial de los hábitats litorales.
 - **Historial de monitoreos:** Los sitios seleccionados en años anteriores se han mantenido con el propósito de conservar una serie temporal y permitir comparaciones interanuales.
- **Sitios de monitoreo**

Los sitios de monitoreo se ubicaron en distintos lugares alrededor del lago Atitlán, seleccionados con base en su accesibilidad y representatividad de las condiciones litorales. En el cuadro 1 se presentan las coordenadas y características generales de cada sitio. En la figura 5 se pueden apreciar las diferentes áreas del monitoreo de vegetación acuática.

Cuadro 1 Ubicación de los sitios de monitoreo de vegetación acuática en el lago Atitlán.

Sitio de muestreo	Municipio	Coordenadas		Principales características
		X	Y	
Quiscab (a)	Sololá	426430	1630113	Ubicada cerca de la desembocadura del río Quiscab, zona somera (<2m) con sustrato limoso y alta carga de sedimentos. Fuerte impacto por descargas fluviales y residuos sólidos.
San Pablo la Laguna (b)	San Pablo La Laguna	416191	1627096	Pequeña bahía litoral con fuerte impacto de viento y oleaje. Sustrato fangoso, zona de poca profundidad. Uso pesquero artesanal frecuente con acceso limitado y presión antrópica moderada.
Uxлabil (C)	San Juan La Laguna	415915	1625066	Bahía litoral protegida del viento y oleaje con sustrato limo-arenoso, adyacente a terrenos agrícolas y de uso turístico. Influencia por escorrentía con aporte de nutrientes.



DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL

Sitio de muestreo	Municipio	Coordenadas		Principales características
		X	Y	
Fondo Bahía de Santiago Atitlán (d)	Santiago Atitlán	418980	1615794	Zona litoral abierta con leve impacto de oleaje y viento, fondo fangoso, actualmente existe cambio de uso de la tierra. Influencia leve de escorrentía urbana y agrícola.
Isla de los Gatos (e)	Santiago Atitlán	422511	1621463	Área protegida del viento con sustrato blando y moderada cobertura vegetal acuática. Abundante sedimento y baja influencia humana directa.
Pahuacal (f)	Cerro de Oro, Santiago Atitlán	428893	1621635	Posee fondo arenoso-fangoso, rodeado de chalets y áreas residenciales. Acceso restringido y presión moderada por uso recreativo.
Tzanhucal (g)	Cerro de Oro, Santiago Atitlán	429057	1621271	Posee sustrato arenoso, con actividades antrópicas cercanas como presencia de viviendas y senderos. Existe poco impacto del oleaje.
Entrada (h)	San Lucas Tolimán	430991	1619223	Zona litoral expuesta al viento y oleaje, posee sustrato arenoso y ligera influencia por bombeo de agua.
El Relleno (i)	San Lucas Tolimán	431143	1618358	Zona litoral ubicada frente a lavaderos públicos, descarga de aguas grises y cercano a jaulas de tilapias. Posee fondo limoso con olor fétido y alta presencia de residuos. Sitio fuertemente impactado por actividades domésticas.
Cebollales (j)	San Antonio Palopó	433207	1625272	Posee fondo rocoso-arenoso expuesto al viento y al oleaje. Existe presión agrícola moderada por cultivo de hortalizas.

Fuente: DICA/AMSCLAE, 2025.



Figura 5. Vistas representativas de los sitios de monitoreo de vegetación acuática en el lago Atitlán.

De Izquierda a derecha: (A) Quiscab, (B) San Pablo la Laguna, (C) Uxлabil, (D) Fondo de la Bahía de Santiago Atitlán, (E) Isla de los Gatos, (F) Pahuacal, (G) Tzanhucal, (H) Entrada San Lucas Tolimán, (I) El Relleno, (J) Cebollales.

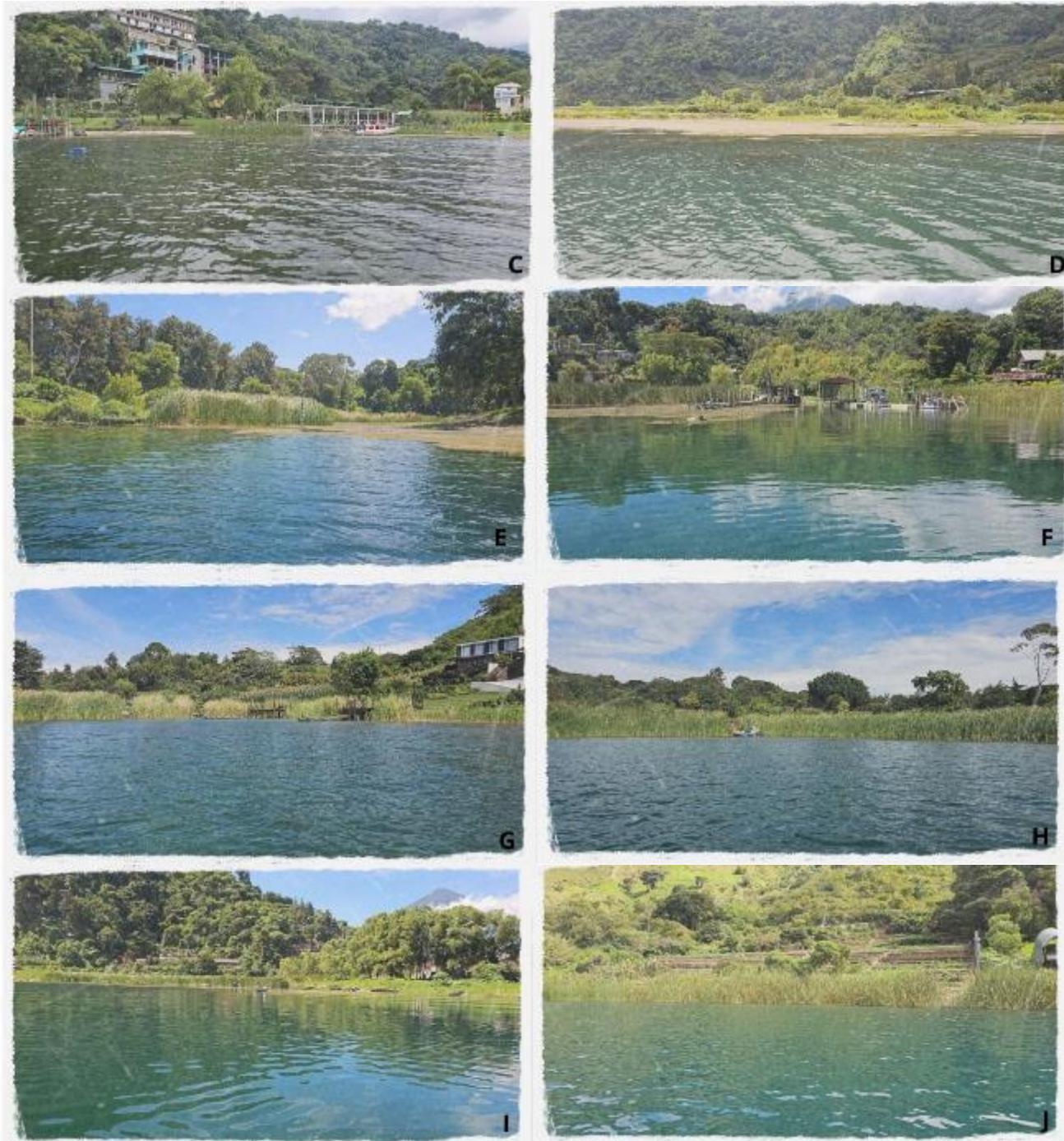


Figura 5. Vistas representativas de los sitios de monitoreo de vegetación acuática en el lago Atitlán.

De Izquierda a derecha: (A) Quiscab, (B) San Pablo la Laguna, (C) Uxлabil, (D) Fondo de la Bahía de Santiago Atitlán, (E) Isla de los Gatos, (F) Pahuacal, (G) Tzanhucal, (H) Entrada San Lucas Tolimán, (I) El Relleno, (J) Cebollales.



- **Procedimiento de muestreo y criterios de análisis de datos**

En cada sitio seleccionado se registraron las especies de vegetación acuática presentes. Adicionalmente se utilizaron dos indicadores ecológicos para su análisis:

- **Riqueza de especies:** Permite cuantificar la cantidad de especies encontradas en cada punto de muestreo. Esto permite evaluar la biodiversidad y los cambios en la composición de especies a lo largo del tiempo.
- **Abundancia de especies:** Permite cuantificar la cantidad de individuos en cada una de las especies, permitiendo determinar la dominancia o presencia relativa de las especies. La abundancia relativa se expresó en términos de estimaciones, de acuerdo a su escala de cobertura (Cuadro 2).

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.

b) **Metodología: Manejo de tul**

- **Elección de áreas de intervención**

Las intervenciones de manejo de tul, siembra y poda, durante el año 2025 se priorizaron en los municipios de: Sololá, Santa Cruz la Laguna, San Marcos la Laguna, San Lucas Tolimán, San Antonio Palopó y Santa Catarina Palopó. Estos sitios se seleccionaron en el monitoreo realizado en el mes de diciembre del año 2024, bajo criterios técnicos y ambientales, los cuales consideraban factores como: tipo de sustrato, profundidad, cercanía a semilleros de tul, accesibilidad a los sitios, potencial de recuperación y conectividad con otro tipo de vegetación acuática; para garantizar condiciones favorables para la regeneración del tul, a su vez que contribuyera de manera efectiva a la restauración y manejo sostenible de la zona litoral del lago Atitlán.

- **Procedimiento de siembra de tul**

Las siembras de tul se realizaron entre los meses de febrero a octubre del año 2025 en diversos puntos de la zona litoral del lago Atitlán, en los municipios de Sololá, Santa Cruz la Laguna, San Marcos la Laguna, San Lucas Tolimán, San Antonio Palopó y Santa Catarina Palopó.

El procedimiento de siembra incluyó las siguientes fases:

- **Extracción de semillas:** Debido a la ausencia de semilleros formales, el material vegetal se obtuvo de masas tulares existentes en el lago. Se seleccionaron macollas jóvenes y saludables, en especial aquellas que habían quedado expuestas por la oscilación del nivel del lago, con el fin de minimizar el impacto sobre las poblaciones en crecimiento. La extracción se realizó de manera manual mediante palas y piochas.
- **Preparación de macollas:** Con el propósito de asegurar su establecimiento, las macollas fueron amarradas con pita a piedras de tamaño adecuado, lo que permitió mantenerlas sumergidas y en contacto directo con el sustrato.
- **Siembra de macollas:** Cabe destacar que el material extraído, previamente a ser preparado fue trasladado en lancha facilitada por AMSCLAE. Posteriormente, las macollas ya preparadas fueron colocadas a profundidades de entre 1.00 y 1.50 metros, utilizando equipo de buceo como apoyo técnico para garantizar la correcta fijación de las macollas al sustrato. Se cavaron pequeños agujeros en el fondo en los que se insertaron las raíces, mientras la piedra se dejó como base de anclaje. Se respetó un espaciamiento aproximado de 1.00 metro entre macollas para propiciar un crecimiento ordenado y con espacio suficiente para la regeneración natural.

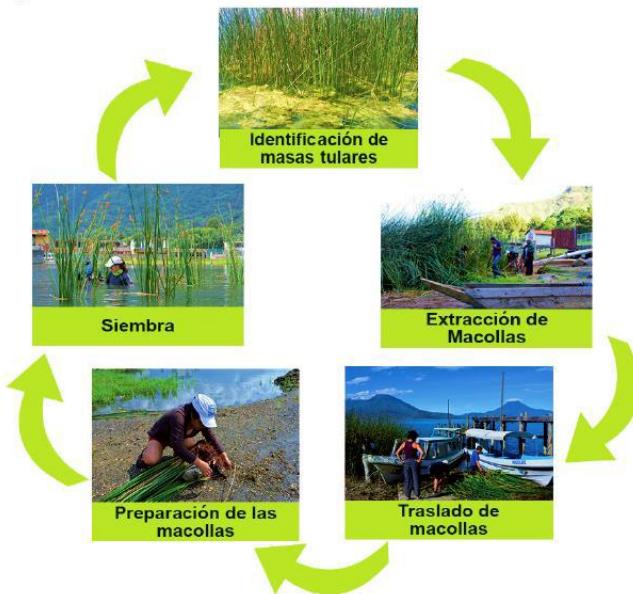


Figura 6. Proceso de siembra de tul en el lago Atitlán
Fuente: DICA/AMSCLAE, 2023

Estas intervenciones fueron coordinadas por AMSCLAE con el apoyo del Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) y la Asociación Amigos del Lago Atitlán (AALA), quienes participaron en el desarrollo de las actividades en campo y la provisión de equipo y personal para dicho fin.

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL

- Procedimiento de poda de tul

La poda se implementó como parte de las acciones de manejo de tul, con la finalidad de mantener en buen estado las masas tulares, estimular su regeneración y contribuir al aprovechamiento sostenible del material vegetal en actividades artesanales.

De acuerdo a las recomendaciones técnicas (Yantuche, 2014; Berge de White, s.f.), las podas se programaron en época seca (enero – abril y noviembre – diciembre). Los criterios de selección consideraron la altura (mínimo 2m), grosor (2cm) y coloración de tallos, realizándose cortes a 10cm sobre el nivel del agua para estimular el rebrote de yemas rizomáticas.

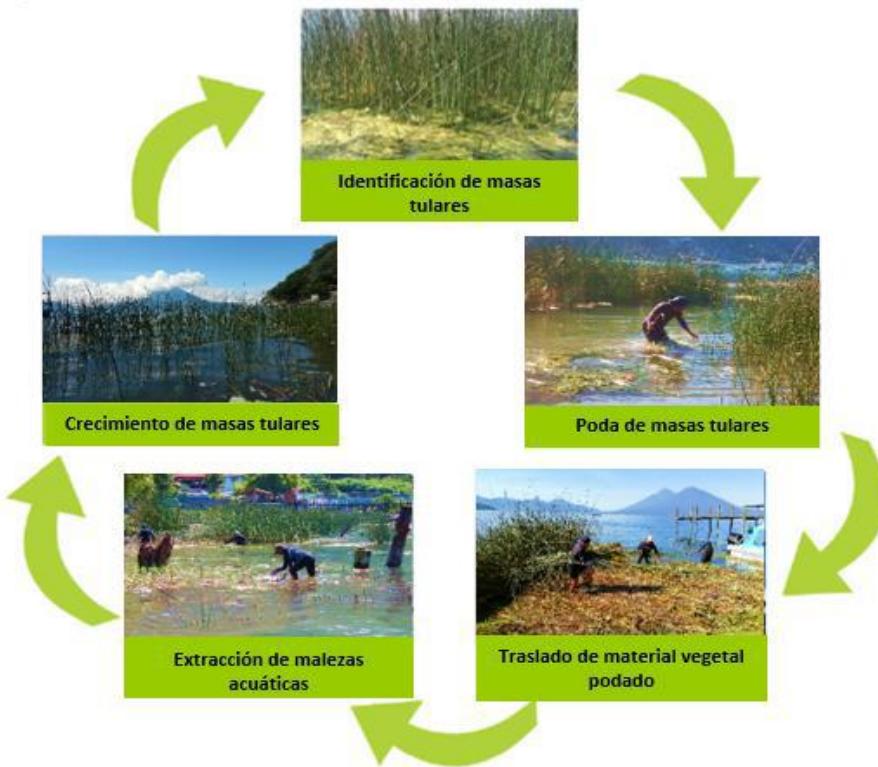


Figura 7. Proceso de poda de tul en el lago Atitlán

Fuente: DICA/AMSCLAE, 2023



DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL

- **Registro y análisis de datos de intervenciones de tul**

Los puntos seleccionados para las intervenciones en manejo de tul se ubicaron, mediante el uso de dispositivos GPS, en distintos lugares alrededor del lago Atitlán. Esta acción facilitó la localización de sitios durante el año 2025. Durante las jornadas se registraron otras variables como: Tipo de intervención, número de macollas plantas, metros lineales cubiertos; en el caso de podas, la cantidad de área podada. En ambos casos se realizó un registro fotográfico de los procedimientos realizados. Posteriormente, esta información fue sistematizada en la base de datos digital de la AMSCLAE, en formato Excel; lo que permitió organizar de manera estandarizada los datos y facilitar el análisis comparativo entre sitios intervenidos.

- **Recursos utilizados en jornadas de tul**

Para la ejecución de intervenciones de siembra y poda de tul se requirieron diversos recursos materiales, humanos y financieros, los mismos pueden apreciarse en el cuadro 3.

Cuadro 3. Recursos utilizados en las intervenciones de siembra y poda de tul en el lago Atitlán.

Recursos Materiales	Recursos Humanos	Recursos Financieros absorbidos por AMSCLAE
✓ Palas	✓ Técnicos de DICA/AMSCLAE	✓ Personal Técnico de AMSCLAE
✓ Piochas	✓ Guarda recursos de CONAP	✓ Herramientas
✓ Cucharas	✓ Técnicos de Asociación Amigos del Lago Atitlán	✓ Equipo de buceo
✓ Pita	✓ Estudiantes de EPS vinculados al EPSUM	✓ Lancha y combustible
✓ Tijeras	✓ Voluntarios	
✓ Equipo de buceo	✓ Personal municipal (San Marcos La Laguna)	
✓ GPS		
✓ Hoz		
✓ Machetes		
✓ Lancha institucional AMSCLAE		
✓ Combustible		

Fuente: DICA/AMSCLAE, 2025.



DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL

- **Alianzas y cooperación**

El reconocimiento, jornadas de tul y mantenimiento de masas tulares durante el año 2025 se llevó a cabo gracias al compromiso y alianzas interinstitucionales establecidas entre la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago Atitlán y su Entorno (AMSCLAE), el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) y la Asociación Amigos del Lago Atitlán (AALA). Cada institución asumió responsabilidades específicas relacionadas con la programación, logística y ejecución de actividades, lo cual permitió el cumplimiento de los objetivos planteados. Además, se contó con la participación de voluntarios y estudiantes del Ejercicio Profesional Supervisado Multidisciplinario de la Universidad de San Carlos de Guatemala (EPSUM-USAC), quienes brindaron apoyo en las labores de campo.

- **Limitaciones y dificultades**

El manejo y conservación del tul en el lago Atitlán enfrenta una serie de limitaciones que condicionan la efectividad de las intervenciones realizadas. Entre estas se pueden mencionar:

- **Factores técnicos y ambientales** Un factor importante es la heterogeneidad de la zona litoral del lago Atitlán. En algunos sitios el sustrato es rocoso, lo que dificulta la siembra de tul, la excesiva profundidad en algunos sitios provoca el anegamiento de las plantas; por el contrario, existen zonas poco profundas en las que las macollas quedan expuestas a la intemperie, comprometiendo su desarrollo. A todo esto, se suma la disminución del nivel del lago, que ha ocasionado que extensas áreas de tul queden fuera del agua, afectando la regeneración natural. El oleaje, por su parte, favorece el arrastre de material vegetal, principalmente de *Hydrilla verticillata* (Pashte), que se enreda en los tallos de tul, provocando su quiebre o ahogamiento; incrementando así, el debilitamiento de las masas tulares ya establecidas.
- **Factores sociales y de aprovechamiento** A nivel social, se ha identificado la resistencia de algunos sectores de la población, especialmente de propietarios de terrenos o mujeres que realizan lavado de ropa a orillas del lago Atitlán, quienes manifiestan oposición a la siembra o poda de tul en sus cercanías. Por otra parte, la falta de información y sensibilización genera prácticas inadecuadas, como el corte indiscriminado de tul sin considerar criterios de manejo. En cuanto al aprovechamiento, se ha observado un progresivo desinterés en el uso del tul como materia prima para actividades comerciales. Esto representa una pérdida de incentivo económico para conservar el recurso y el riesgo de que, al no ser aprovechado el tul, termine descomponiéndose dentro del lago y contribuya a procesos de eutrofización y deterioro de la calidad del agua. Esta serie de dificultades muestran que la conservación del tul no sólo requiere de intervenciones técnicas adecuadas, también de la sensibilización comunitaria y la implementación de alternativas sostenibles de aprovechamiento que aseguren la permanencia del tul en el lago Atitlán.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

a) Riqueza, distribución y abundancia de especies de vegetación acuática

Durante el año 2025 se identificaron un total de 17 especies correspondientes a vegetación acuática (Anexo 1). De este conjunto, 12 especies fueron clasificadas como estrictamente acuáticas, distribuidas en: 3 de tipo flotante, 7 sumergidas y 2 emergentes. Las 5 especies restantes se consideraron como vegetación asociada.

La composición de vegetación estrictamente acuática mostró una estructura dominada por especies sumergidas, que representaron entre el 45% y 55% de la riqueza total de especies, manteniendo una composición estable a lo largo del tiempo. En contraste, las especies emergentes conservaron valores bajos con ligeras fluctuaciones entre el 10% y 20%, sin evidenciar variaciones significativas interanuales. Por su parte, las especies flotantes mostraron una tendencia descendente gradual, pasando de valores cercanos al 40% en 2016 a menos del 30% en 2025. Esta reducción podría estar asociada a variaciones hidrológicas y de cobertura superficial, así como a cambios en la disponibilidad de nutrientes o la competencia interespecífica en el sistema acuático. En cuanto a la vegetación asociada, aquella que se desarrolla en zonas adyacentes o bajo influencia directa del medio acuático, se observó una marcada fluctuación interanual, alcanzando su punto máximo en 2017, posteriormente presentó una disminución progresiva, con leves recuperaciones en 2021 y 2025. Este comportamiento podría reflejar la respuesta de las especies ribereñas a cambios en los niveles hídricos del lago o la dinámica del hábitat de la zona litoral.

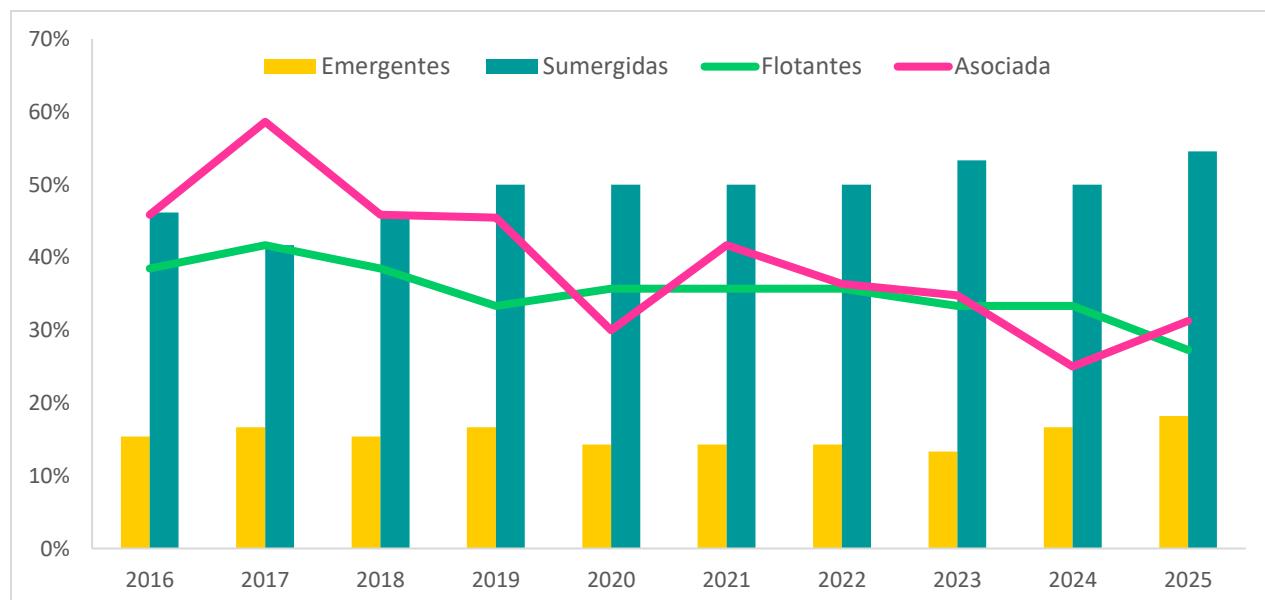


Figura 8. Riqueza relativa de los diferentes tipos de forma de vida de las especies de plantas estrictamente acuáticas en el lago Atitlán. Fuente: DICA/AMSCLAE, 2025



DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL

En síntesis, los resultados evidencian una mayor estabilidad en plantas acuáticas sumergidas y una pérdida paulatina de especies flotantes menores (*Azolla filiculoides*, *Lemna valdiviana*, *Spirodela polyrhiza* y *Wolffia sp.*) y asociadas, fenómeno posiblemente vinculado a las variaciones hidrológicas (disminución del nivel del lago), sedimentación y presión antrópica.

El análisis espacial de riqueza de especies muestra una distribución heterogénea entre los sitios de monitoreo (Fig. 9) (Anexo 2). El valor más alto lo posee la Bahía de Santiago Atitlán (12) probablemente por ser una bahía cerrada con bajo oleaje y alto aporte de nutrientes. Uxлabil (7) y Pahuacal (6) muestran una riqueza alta-intermedia, lo que sugiere un adecuado hábitat litoral y posiblemente un equilibrio entre el aporte de nutrientes y estabilidad hídrica. El relleno (6) con riqueza moderada, aunque está impactado por actividades antrópicas (lavaderos, descarga de aguas residuales), es posible que tenga especies tolerantes u oportunistas. Isla de los Gatos (4) y Tzanhacal (4) su riqueza es coherente con su ubicación protegida y baja influencia antrópica. La menor riqueza la tuvieron Cebollales (4), San Pablo la Laguna (3) y Quiscab (2) probablemente por exposición al viento, arrastre de sedimentos y alta presión antrópica. En términos generales, la mayor riqueza se encuentra en bahías protegidas, levemente impactadas por viento, oleaje y presión antrópica; en comparación con sitios expuestos y moderada a altamente perturbados por presiones antrópicas locales.

**Riqueza de especies de vegetación estrictamente acuática y asociada
por sitio de monitoreo - 2025-**



Figura 9. Riqueza de especies de vegetación acuática por sitios de monitoreo.

Fuente: DICA/AMSCLAE, 2025



DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL

El análisis de abundancia de especies de vegetación estrictamente acuática en los sitios de monitoreo del lago Atitlán durante el año 2025 presentaron gran heterogeneidad espacial y entre forma de vida de especies (fig. 10, 11 y 12), (anexo 3). En términos generales, se identificaron doce especies distribuidas entre los sitios evaluados, con variaciones de frecuencia y dominancia.

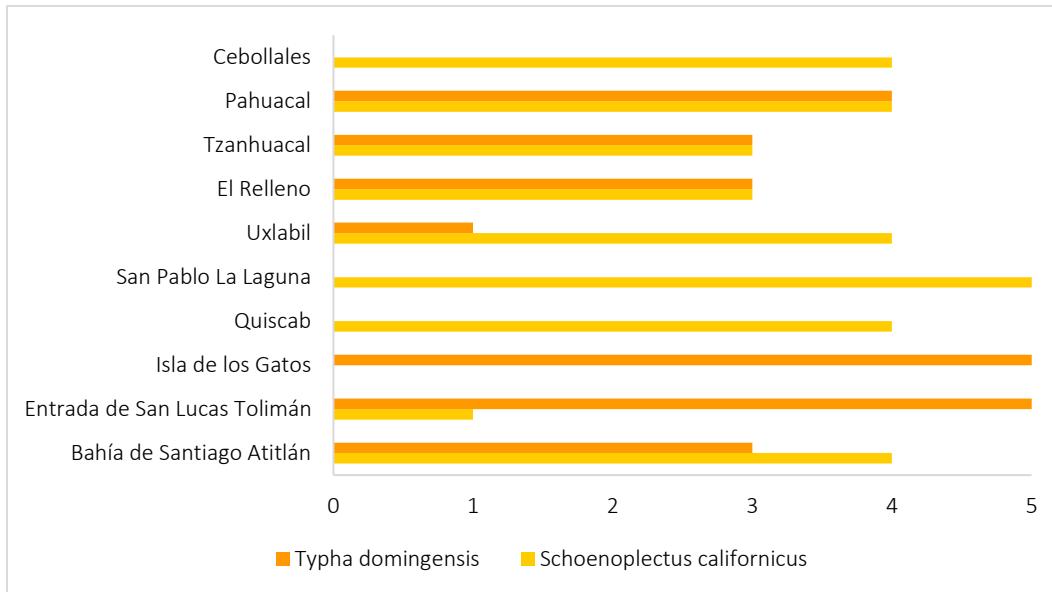


Figura 10. Abundancia de plantas acuáticas emergentes por sitios de monitoreo.

Fuente: DICA/AMSCLAE, 2025

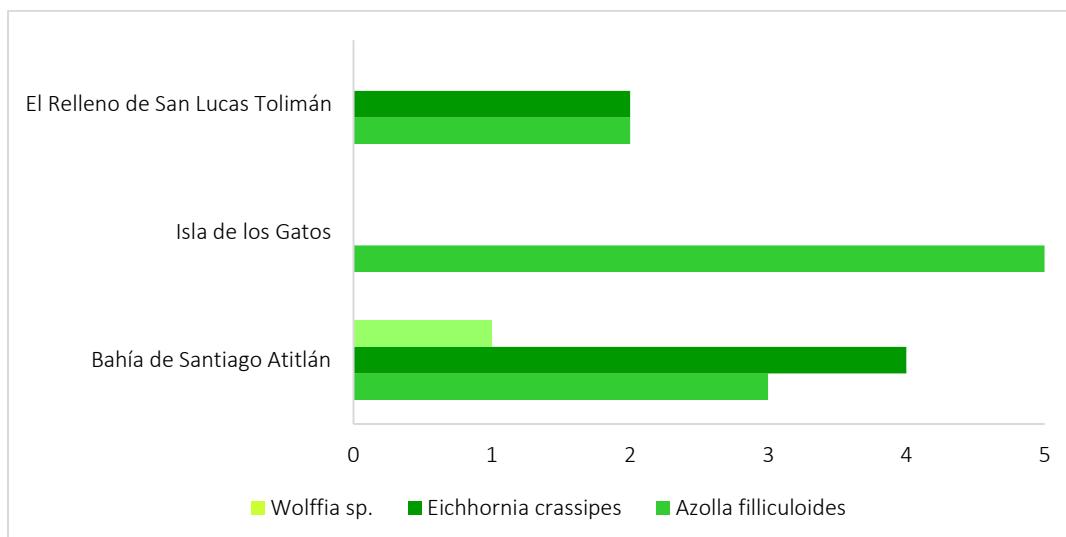


Figura 11. Abundancia de plantas acuáticas flotantes por sitios de monitoreo.

Fuente: DICA/AMSCLAE, 2025.



DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL

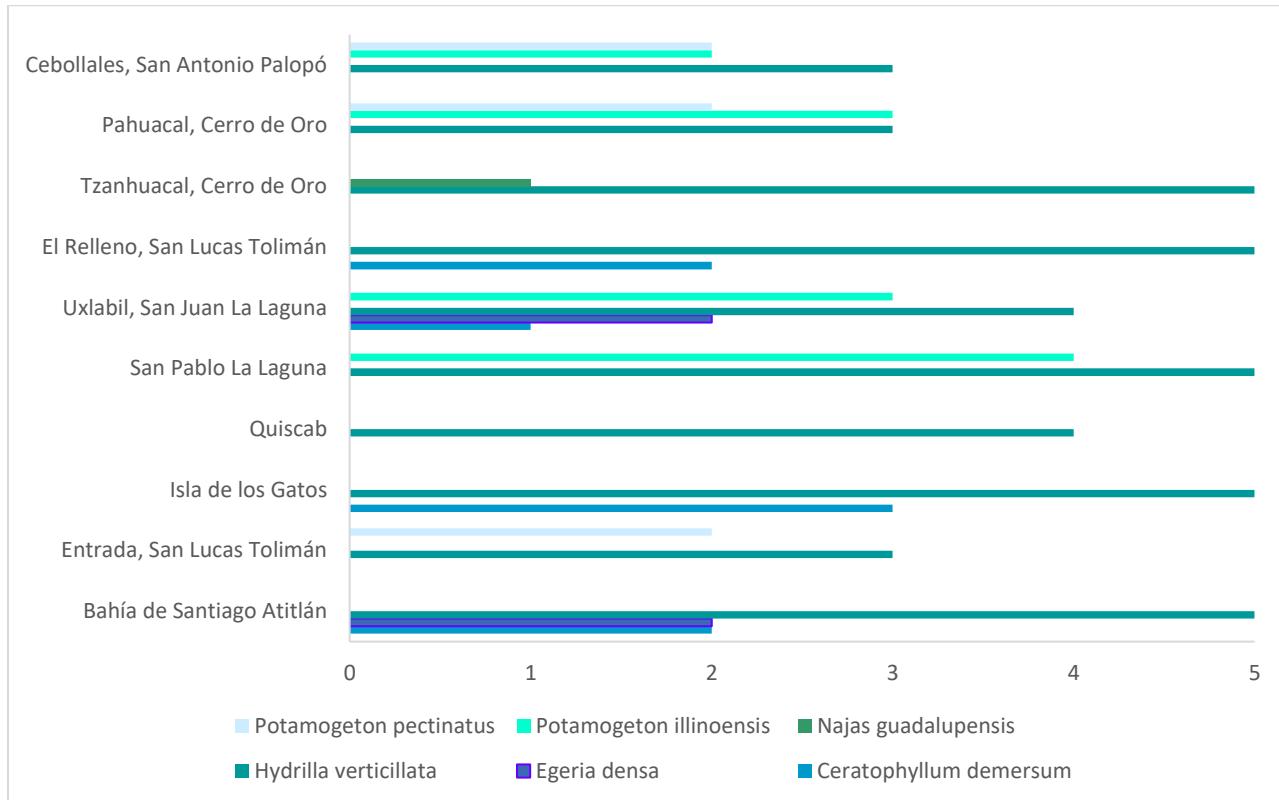


Figura 12. Abundancia de plantas acuáticas sumergidas por sitios de monitoreo.

Fuente: DICA/AMSCLAE, 2025.

En el caso de las plantas acuáticas emergentes (*Schoenoplectus californicus* y *Typha domingensis*) presentaron los mayores valores de abundancia (4- 5) en la mayoría de los sitios monitoreados, lo que sugiere que estas especies constituyen un componente dominante en la vegetación acuática del lago Atitlán, reflejando a su vez un papel importante en la estabilización de las zonas litorales. Estas especies mantienen una distribución ambiental, especialmente en sectores con influencia directa de escorrentía y oleaje, donde contribuyen al control de la erosión y fijación de nutrientes. Respecto a las plantas acuáticas flotantes, *Eichhornia crassipes* destacó en sitios como la Bahía de Santiago Atitlán e Isla de los Gatos, mientras que *Azolla filiculoides* y *Wolffia sp.* Mostraron abundancia moderada a baja y una distribución restringida. La presencia de *E. crassipes* podría estar relacionada a condiciones de eutrofización localizada y acumulación de nutrientes, reflejando procesos de enriquecimiento trófico en sectores específicos del lago. En cuanto a las plantas acuáticas sumergidas, *Hydrilla verticillata* mostró una distribución continua y elevada abundancia en la mayoría de sitios (valores 4 - 5), consolidándose como la especie dominante de este grupo.

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL

Su amplia presencia sugiere una alta capacidad de adaptación a gradientes de profundidad y variaciones en el tipo de sustrato. Especies como *Egeria densa*, *Najas guadalupensis* y *Potamogeton illinoensis* presentaron valores intermedios, mientras que *Ceratophyllum demersum* y *Chara sp.* Registraron niveles bajos (1 – 2) limitadas a sectores con menor perturbación antrópica.

Finalmente, la coexistencia de especies emergentes, flotantes y sumergidas refleja una estructura compleja de vegetación acuática, característica de ecosistemas con funcionalidad ecológica estable. Esta misma diversidad contribuye a la resiliencia del ecosistema lacustre, favoreciendo la regulación biogeoquímica, el mantenimiento de hábitats y la amortiguación ante impactos derivadores de las variaciones ambientales y las actividades antrópicas.

b) Cambios observados e implicaciones en la presencia y riqueza de plantas acuáticas en el lago Atitlán

La variabilidad observada en la presencia y riqueza de especies de plantas acuática en los sitios de monitoreo se encuentra estrechamente relacionada con las acciones antropogénicas y las variaciones climáticas, dada la alta sensibilidad de estos organismos a las perturbaciones en las condiciones ambientales del lago Atitlán.

Entre las principales presiones de origen antrópico se encuentra la contaminación por vertidos urbanos y agrícolas, provenientes, en muchas ocasiones, de sistemas de tratamiento que han sobrepasado su capacidad; el incremento de la expansión demográfica en los municipios ribereños, la extracción y destrucción de plantas acuáticas debido al desconocimiento de los servicios ecosistémicos que estas brindan. Estas acciones afectan directamente la zona litoral del lago Atitlán, que funciona como principal hábitat de la vegetación acuática y actúa como franja de transición entre el ecosistema acuático y terrestre.



Figura 13. Destrucción de tul por falta de conocimiento

Fuente: DICA/AMSCLAE. 2025.

En esta zona los procesos de sedimentación se han intensificado por la deforestación de laderas, el inadecuado manejo de los suelos agrícolas y el arrastre de desechos sólidos y orgánicos durante eventos de lluvia intensa, lo cual modifica las condiciones de transparencia y oxigenación, limitando el desarrollo de algunas especies de vegetación acuática, favoreciendo a aquellas más tolerantes.

Asimismo, el aumento de infraestructura turística y residencial en la zona ribereña ha reducido la disponibilidad de hábitats naturales, interrumpido la conectividad entre los distintos microambientes de la zona litoral y alterando las condiciones físicas del sustrato. Estas transformaciones han disminuido la heterogeneidad estructural, afectando la riqueza y abundancia de las comunidades de vegetación acuática.

En cuanto a las variaciones climáticas, los períodos prolongados de sequía y los eventos de lluvia intensa en lapsos cortos de tiempo, han generado fluctuaciones considerables en el nivel del lago. De acuerdo con registros limnimétricos de DICA, el nivel de agua muestra una tendencia a la disminución desde el año 2014, condición que compromete la supervivencia y regeneración de las comunidades acuáticas presentes en la zona litoral menos profunda.

Otro aspecto determinante es la introducción y proliferación de especies exóticas invasoras como: *Hydrilla verticillata*, que tienden a desplazar a especies nativas y alterar las estructuras de las comunidades acuáticas. A esto se suman las variaciones en los factores físico-químicos del agua y factores ambientales externos (luz, viento y precipitación), los cuales influyen directamente en los procesos fisiológicos de crecimiento y reproducción de las plantas acuáticas.

En este contexto, resulta esencial hacer hincapié y fortalecer las acciones orientadas en la conservación y manejo sostenible de las zonas litorales del lago Atitlán. La vegetación acuática cumple funciones ecológicas clave, tales como: la estabilización de sedimentos, reducción de erosión, soporte de hábitats y refugios para fauna acuática; y la participación en los ciclos biogeoquímicos del Carbono, Nitrógeno y Fósforo, lo que permite la fijación de nutrientes, regulación de la calidad del agua y el soporte de la biodiversidad.



Figura 14. Plantas acuáticas como soporte de hábitat y sitio de refugio.

Fuente: DICA/AMSCLAE, 2025.

c) Sitios priorizados y jornadas de siembra y poda de tul

Los sitios priorizados para las intervenciones de manejo de tul se definieron considerando criterios técnicos y ambientales, entre ellos: Tipo de sustrato, profundidad, cercanía a semilleros de tul, accesibilidad, potencial de recuperación ecológica y conectividad con otras zonas de vegetación acuática. Estos factores garantizan condiciones adecuadas para el establecimiento y expansión del tul, además de contribuir a la restauración sostenible de la zona litoral del lago Atitlán.



DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL

Cuadro 4. Sitios priorizados para intervenciones de manejo de tul para el año 2025.

Municipio	Lugar	Tipo de Manejo	Coordenadas		Limpieza	Sustrato	Observaciones
			X	Y			
Sololá	Jaibal	Siembra nueva	426468	1630070	No	Arenoso	Semillero de Santa Catarina Palopó
Santa Cruz La Laguna	Villas Sumaya	Siembra nueva	424813	1630145	No	Rocoso	Semillero cercano
Santa Cruz La Laguna	Casa Mariposa	Siembra nueva	420416	1629025	No	Rocoso/arenoso	Semillero cercano
Santa Cruz La Laguna	Patalik	Siembra nueva	423412	1629749	No	Rocoso	Semillero cercano
San Marcos La Laguna	Casa rosada	Siembra nueva	419667	1628110	No	Arenoso/rocoso	Semillero en San Marcos la Laguna
San Marcos La Laguna	A la par del Dragón 1	Poda	418656	1628200	Si	Arenoso	Corte de tul fuera del agua
San Marcos La Laguna	Después del Dragón 2	Poda	418491	1628063	Si	Arenoso	Corte de tul fuera del agua
San Lucas Tolimán	Finca Venecia	Siembra nueva	430614	1618854	No	Arenoso	Semillero a la par del sitio de siembra
San Lucas Tolimán	Relleno San Lucas Tolimán	Siembra nueva	431566	1619044	No	Arenoso	Semillero en San Lucas Tolimán
San Lucas Tolimán	Relleno San Lucas Tolimán	Siembra nueva	431788	1619530	No	Arenoso	Semillero en San Lucas Tolimán
San Antonio Palopó	Tzampetey	Siembra nueva	431873	1619648	Si	Arenoso	Semillero en San Lucas Tolimán
San Antonio Palopó	Tzampetey	Siembra nueva	431586	1620159	No	Arenoso	Semillero en San Lucas Tolimán



DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL

Municipio	Lugar	Tipo de Manejo	Coordenadas		Limpieza	Sustrato	Observaciones
			X	Y			
San Antonio Palopó	Tzampetey	Siembra nueva	431926	1620384	No	Arenoso	Semillero en San Lucas Tolimán
San Antonio Palopó	Tampetey	Siembra nueva	432938	1621316	No	Arenoso/rocoso	Semillero en San Lucas Tolimán
San Antonio Palopó	Panumul	Siembra nueva	433634	1622541	No	Arenoso	Semillero a la par del sitio de siembra
Santa Catarina Palopó	Casa Palopó	Siembra nueva	701058	1627731	no	Arenoso	Semillero a la par del sitio de siembra

Fuente: DICA/AMSCLAE, 2025.

- Cobertura de siembras de tul

Durante el año 2025 se dio continuidad en las intervenciones de siembra de tul en distintos municipios de la zona litoral del lago Atitlán (fig. 15), alcanzando un total de 14 jornadas de siembra de tul (anexo 4), en las cuales se establecieron 1,020 macollas sembradas de tul, equivalentes a 1,020 metros lineales. En comparación, durante el año 2024 se registró la siembra de 892 macollas, lo que representa un incremento del 14.35% en el año 2025. Este incremento representa una mayor capacidad operativa de AMSCLAE, CONAP y AAL, además de una mejor planificación en la selección de sitios y una logística más eficiente para el traslado y establecimiento de macollas.

El incremento en el número de macollas sembradas y la extensión en metros lineales evidencia un avance hacia el cumplimiento del objetivo de restauración de la zona litoral del lago Atitlán, mediante la recuperación de masas tulares. La incorporación de los municipios de San Antonio Palopó y San Lucas Tolimán en las jornadas de siembra, refleja un esfuerzo por diversificar y ampliar las zonas intervención. No obstante, persisten desafíos vinculados al tipo de sustrato, variaciones en el nivel del lago y la reticencia de algunos sectores de la población, factores que limitan el éxito en determinadas áreas.



DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL

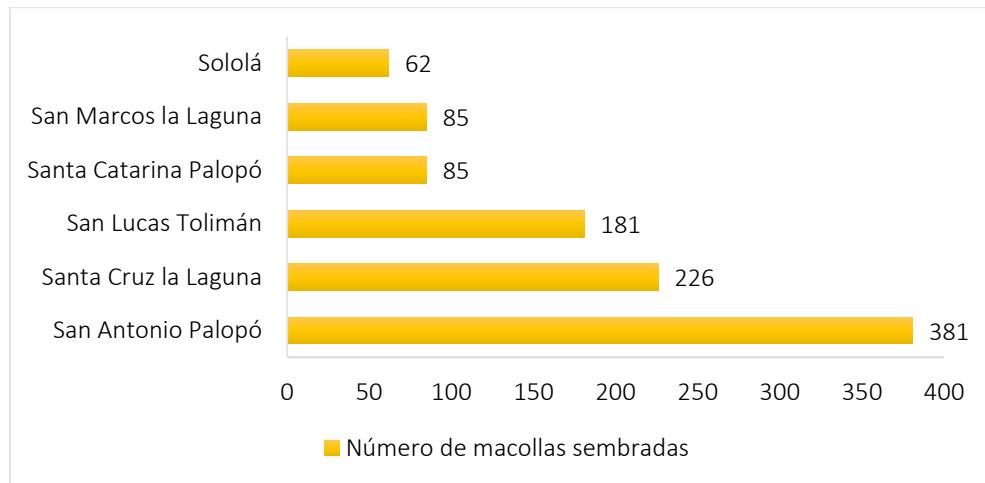


Figura 15. Número de macollas de tul sembradas por municipio durante el 2025. Fuente: DICA/AMSCLAE, 2025.

El mayor impacto en las siembras de tul se registró en los municipios de San Antonio Palopó (381 m), Santa Cruz la Laguna (226 m) y San Lucas Tolimán (181 m) (Cuadro 5). Estos resultados responden a una adecuada condición del sustrato, especialmente en áreas de sustrato arenoso, y a la participación activa de voluntarios y personas técnico, cuya intervención fue determinante para lograr un mayor establecimiento de macollas. En contraste, los municipios de Sololá, San Marcos la Laguna y Santa Catarina Palopó representan la continuidad de esfuerzos iniciados en años anteriores, consolidando procesos de restauración en áreas que han mostrado resultados positivos en la regeneración de masas tulares.

Cuadro 5. Zona litoral restaurada (metros lineales) y porcentaje de cobertura de tul por municipio intervenido durante el 2025.

Municipio	Zona litoral (m)	Zona litoral restaurada (m)	Cobertura de tul (m)	Cobertura de tul (%)
San Antonio Palopó	11,465	381	1,886	20
Santa Cruz la Laguna	7,232	226	572	11
San Lucas Tolimán	7,232	181	2,555	38
Santa Catarina Palopó	5,843	85	1,022	19
San Marcos la Laguna	4,984	85	1,333	28
Sololá	5,436	62	800	16
TOTAL	42,193	1,020	8,167	22

Fuente: DICA/AMSCLAE, 2025

No obstante, al realizar un análisis del porcentaje de cobertura que tienen los municipios intervenidos, la mayoría tienen una cobertura menor a 25 % respecto al total de la zona litoral. Esto evidencia la importancia de continuar con las estrategias de restauración de las zonas litorales de cada municipio ubicado a la orilla del lago Atitlán.



DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL

En el análisis de datos en perspectiva temporal (2020 – 2025) (Fig. 16), se observa una tendencia ascendente en la cantidad de macollas sembradas, respecto a los primeros años del periodo. Aunque existen registros desde 2017, la comparación realizada desde 2020 permite dimensionar el fortalecimiento sostenido de las jornadas de intervención de siembra de tul, asociado, principalmente a la sistematización de datos, estandarización de metodologías y al mayor involucramiento interinstitucional.

El éxito de las siembras puede explicarse por dos factores fundamentales:

1. **Participación comunitaria e institucional:** La cantidad de voluntarios y personal técnico involucrado influye directamente en la eficiencia de siembra, dado que un mayor número de participantes permite cubrir una mayor área de intervención.
2. **Estandarización del volumen de macollas:** El número de macollas sembradas depende del tamaño de las mismas, es decir, macollas con un mayor número de tallos, reduce la cantidad total sembrada, mientras que macollas de volumen moderado incrementa el número total de unidades establecidas.

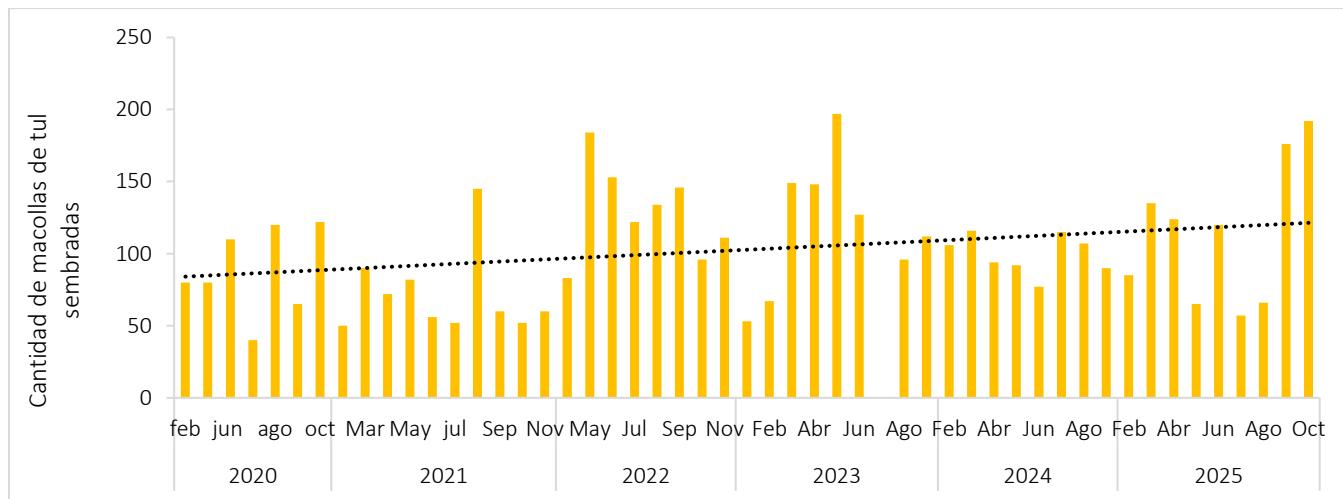


Figura 16. Tendencia temporal de cantidad de macollas sembradas, periodo 2020 - 2025.

Fuente: DICA/AMSCLAE, 2025.

Los datos del año 2025 reflejan la experiencia acumulada y la optimización de técnicas, elementos clave para garantizar el éxito de las intervenciones. Asimismo, la evolución observada desde el año 2020 evidencia el fortalecimiento en la colaboración interinstitucional y comunitaria, que ha permitido ampliar la cobertura espacial y mejorar la eficiencia de las jornadas de siembra de tul.



DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL

No obstante, la sostenibilidad de los esfuerzos de siembra depende de las intervenciones de mantenimiento, especialmente de las podas de tul, que son esenciales para asegurar la regeneración natural y mantener el equilibrio ecológico de la zona litoral del lago Atitlán.

- **Intervenciones de poda de tul**

Durante el año 2025, las intervenciones de poda de tul abarcaron un total de 1,344 m² distribuidos en dos municipios: Santa Catarina Palopó (76%) y San Marcos la Laguna (24%). (anexo 4). Ambas acciones representan enfoques complementarios dentro de la gestión de manejo de tul en la zona litoral del lago Atitlán. Tal como se observa en el cuadro 6, en el caso de Santa Catarina Palopó, la poda se enfocó en la recuperación de masas tulares afectadas por un incendio provocado. Este tipo de intervención adquiere especial relevancia al tratarse de la restauración de áreas críticas que, de no intervenirse, podrían perder su funcionalidad ecológica. El alto porcentaje intervenido evidencia la prioridad de manejo asignada a la mitigación de daños ambiental y a la continuidad de procesos de regeneración del tul. Por su parte, en San Marcos la Laguna, la poda tuvo como propósito la reducción del exceso de biomasa y la recuperación de espacios de uso comunitario. Este esfuerzo refleja el compromiso de la municipalidad en la gestión de la zona litoral, enmarcado dentro del Plan de Ordenamiento Territorial, con el objetivo de compatibilizar la conservación del tul con las necesidades socioambientales locales.

Cuadro 6. Registro de intervenciones de poda de tul

Municipio	Área intervenida (m ²)	Área intervenida (%)	Observaciones
Santa Catarina Palopó	1,024	76	Esfuerzos realizados para la recuperación de masas tulares quemadas por incendio provocado.
San Marcos la laguna	320	24	Retiro de exceso de biomasa y recuperación de espacios de uso público.
Total	1,344	100	

Fuente: DICA/AMSCLAE, 2025

En conjunto, las intervenciones de poda evidencian que el manejo de tul se adapta a condiciones y problemáticas locales específicas. En la figura 17 se aprecia que la mayor proporción de área podada se centró en Santa Catarina Palopó; sin embargo, ambos evidencian la versatilidad de las acciones de manejo, orientadas tanto a la recuperación ambiental como al ordenamiento y aprovechamiento sostenible del entorno litoral del lago Atitlán.



Finalmente, cabe mencionar que en los años 2022 y 2023 ya se habían efectuado actividades de poda en ambos municipios; sin embargo, en esas ocasiones no se contaba con registro cuantitativo del área intervenida. En contraste, durante el año 2025 se incorporó la estimación del área podada, lo que representa un avance en la sistematización y monitoreo de las intervenciones, permitiendo obtener datos más precisos para evaluar la eficiencia y sostenibilidad de las acciones implementadas.

d) Aporte de las intervenciones de manejo de tul en la conservación y manejo sostenible de la zona litoral del lago Atitlán

Las acciones de siembra y poda de tul desarrolladas durante el año 2025 reflejan una visión integral del manejo de la zona litoral del lago Atitlán, en la cual ambas intervenciones actúan como estrategias complementarias para la restauración, mantenimiento y sostenibilidad ecológica del ecosistema lacustre. Estas prácticas, al promover la regeneración y el control de las masas tulares, favorece la resiliencia ecológica y la mitigación del cambio climático a través del almacenamiento de carbono en biomasa y sedimentos; además de la recuperación de la cobertura vegetal acuática y la conservación de los servicios ecosistémicos que el tul brinda.

En el ámbito social, las jornadas de manejo de tul impulsaron una mayor participación comunitaria e institucional, fortaleciendo la relación positiva entre las comunidades y su entorno natural. Se observó una ampliación en la participación de voluntarios, estudiantes y representantes municipales, lo que permitió no sólo incrementar la cobertura de siembra, sino también promover la conciencia ambiental y la corresponsabilidad social en la conservación del lago. Paralelamente, la mejora del entorno natural y paisajístico derivada de la restauración tular genera beneficios indirectos en la salud pública, al reducir condiciones propicias para la proliferación de vectores y fomentar espacios más saludables y seguros para las comunidades ribereñas.

Desde una perspectiva económica, las intervenciones de manejo de tul contribuyen a la reducción de costos ambientales asociados a la degradación de las zonas litorales y al fomento de actividades sostenibles vinculadas al aprovechamiento regulado del tul, la educación ambiental y el ecoturismo. El fortalecimiento de la planificación técnica y la coordinación interinstitucional ha permitido optimizar recursos y aumentar la eficiencia en la ejecución de las actividades, generando impactos positivos tanto en la restauración ambiental como en el aprovechamiento responsable del ecosistema.

En conjunto, los resultados demuestran que las acciones de siembra y poda de tul han contribuido significativamente al mantenimiento funcional de los ecosistemas acuáticos, al mejoramiento de la conectividad ecológica en la zona litoral y al fortalecimiento de la gestión local del recurso natural, consolidándose como una estrategia efectiva para la conservación y el manejo sostenible del lago Atitlán.



CONCLUSIONES

- La riqueza y abundancia de la vegetación acuática del lago Atitlán evidencian la influencia directa de las presiones antrópicas y las variaciones ambientales sobre las comunidades vegetales. Factores como vertidos agrícolas y urbanos, la introducción de especies exóticas y las fluctuaciones del nivel del lago continúan incidiendo en la abundancia, distribución y regeneración de especies.
- Se identifican diferencias notables en la cobertura y diversidad de especies de vegetación acuática entre los sitios monitoreados, reflejando condiciones locales contrastantes. Las zonas con menor alteración ambiental presentan comunidades más estables, mientras que áreas con perturbación presentan reducción de la cobertura vegetal y predominio de especies oportunistas.
- La presencia y permanencia de macrófitas nativas constituyen un componente esencial en la funcionalidad ecológica del lago, al intervenir en procesos de retención de sedimentos, regulación de nutrientes, y provisión de hábitat a fauna acuática asociada. Su monitoreo periódico es fundamental para orientar acciones de conservación y manejo de la zona litoral del lago Atitlán.
- Las actividades de siembra de tul ejecutadas durante el año 2025 contribuyeron de manera significativa en la recuperación de la cobertura tular en la zona ribereña del lago Atitlán, en gran medida, debido a las condiciones del sustrato, la buena planificación y la coordinación interinstitucional.
- La eficacia de siembra se encuentra determinada por factores operativos, sociales y ambientales, destacando la planificación logística, disponibilidad de material vegetal y la participación de actores locales; lo cual reafirma el carácter integral del proceso de restauración ecológica del tul.
- Las intervenciones de poda de tul fueron un componente clave dentro del manejo de tul, orientadas a la recuperación de áreas degradadas y la regulación del crecimiento vegetal en espacios de uso público.
- Las acciones de manejo de tul implementadas en 2025 fortalecen los procesos de conservación y restauración del ecosistema lacustre, consolidando la zona litoral como un espacio de regulación ambiental, provisión de hábitats y resiliencia ambiental.
- Los logros alcanzados evidencian el fortalecimiento institucional en la planificación, ejecución y sistematización de la información, sin embargo, es necesario continuar con el seguimiento de indicadores ambientales, evaluación de las intervenciones realizadas y el fortalecimiento de la participación comunitaria, como elementos indispensables para la sostenibilidad a largo plazo de las acciones de conservación y manejo de la zona litoral del lago Atitlán.



RECOMENDACIONES

Monitoreo de vegetación acuática

- Fortalecer el monitoreo sistemático de vegetación acuática, incorporando metodologías complementarias como el buceo o snorkel, que permita obtener registros más precisos sobre la composición.
- Formalizar un protocolo técnico para la elección de sitios de monitoreo, que considere categorías de hábitat (bahías abiertas, cerradas, desembocaduras, zonas urbanas), tipo de sustrato, cobertura vegetal, accesibilidad y presión antrópica; asegurando la representatividad espacial y ecológica.
- Incorporar parámetros físico-químicos y limnológicos en los puntos de monitoreo de vegetación acuática, especialmente en áreas con cobertura tular, para establecer la dinámica entre las macrófitas y la calidad del agua.
- Actualizar periódicamente la cartografía de vegetación acuática, a partir de imágenes satelitales o vuelos con dron, priorizando zonas con mayor dinámica ecológica y presión antrópica.
- Integrar indicadores ecológicos que permitan evaluar las tendencias de cobertura, expansión y desplazamiento de especies, (p.ej.: Índices de diversidad, presencia de especies indicadoras o invasoras).

Intervenciones de manejo de tul

- Dar continuidad a las acciones de manejo de tul, priorizando municipios estratégicos y manteniendo el seguimiento en áreas previamente intervenidas, con el fin de fortalecer la conectividad ecológica y la recuperación de la cobertura tular.
- Incorporar evaluaciones post-siembra que determinen la supervivencia de macollas y su aporte a la cobertura tular a mediano plazo.
- Implementar un sistema automatizado de registro y almacenamiento de datos ambientales, conectado a un servidor institucional, que permita integrar la información de monitoreo, siembra y podas; facilitando su análisis, trazabilidad y toma de decisiones; además, de fortalecer la transparencia y eficiencia en la gestión de información.
- Fomentar la investigación aplicada sobre la funcionalidad ecológica del tul y otras macrófitas, priorizando temas como: retención de nutrientes, dinámica de sedimentos y mitigación de impactos derivados del cambio climático.



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.
- Berger, M. (2008). El tul: Refugio de vida y de cultura en Atitlán. En Ivic, Matilde e Ivan Azurdia (eds.). Ciencia y Técnica Maya. Guatemala. Editorial Cholsamaj. Extraído en agosto de 2021 de: <http://agualimpiaya.org/wp-content/uploads/2019/03/El-Tul-refugio-de-vida-y-de-cultura-en-Atitl%C3%A1n-Berger-1.pdf>
- Cirujano Bracamonte, S. Meco Molina, A. García Murillo, P. (2014). *Flora acuática española. Hidrófitos vasculares*. [Archivo PDF]. https://bibdigital.rjb.csic.es/medias/de/8d/6e/e0/de8d6ee0-a308-48e7-afd9-4cb883a336d5/files/CIR_Fl_Acu_Esp_Hidro_Vasc.pdf
- 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
- Giménez, PT. (2009). Guía visual de campo Macrófitos de la Cuenca del Ebro. Cemeyká: España.
- McVean, A.L. (2006). Plantas Útiles de Sololá, Guatemala. Universidad del Valle de Guatemala. 222p.
- 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>
- Miglioranza, K.S.B., de Moreno, J.E.A., & Moreno, V. (2004). Organochlorine pesticides sequestered in the aquatic macrophyte *Schoenoplectus californicus* (C.A. Meyer) Soják from a shallow lake in Argentina. *Water Research*. 38(7), 1765-1772. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.01.017>



- 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
- Posada, JA. y López, 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.
- Rejmánková E, Sirová D, Castle ST, Bárta J, Carpenter H (2018) Heterotrophic N2-fixation contributes to nitrogen economy of a common wetland sedge, *Schoenoplectus californicus*. PLoS ONE 13(4): e0195570. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195570>
- Ríos Palencia, MM. (2007). Caracterización y distribución de las macrófitas acuáticas del lago de Atitlán en Sololá, Guatemala y su relación con los niveles de contaminación acuática física y química que podrían afectar en su diversidad, abundancia y distribución. Universidad Rafael Landívar: Guatemala.
- Rojas Moreno, José; Novelo Retana, Alejandro. (1995). Flora y vegetación acuática del Lago de Cuitzeo, Michoacán. *Acta Botánica mexicana*, (31)1, 1-17. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57403101>
- Ujpán Mendoza. (2012). Informe final Acompañamiento técnico para repoblación y mantenimiento del tul en Santiago Atitlán, Sololá. Municipalidad de Santiago Atitlán y Junta de Andalucía.
- Yantuche, A. 2014. Manual para el manejo sostenible del tul *Scirpus californicus* y *Typha domingensis* en la Bahía de Santiago Atitlán, Sololá, Guatemala.



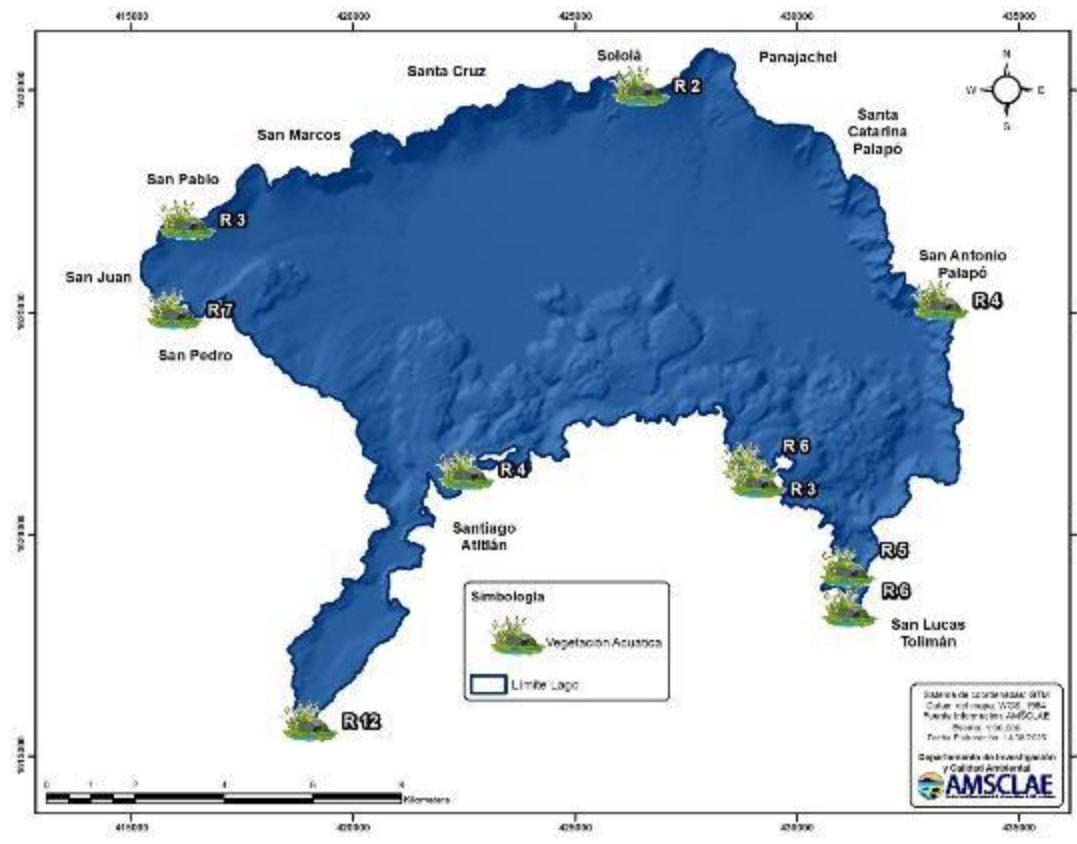
ANEXOS

Anexo 1. Plantas estrictamente acuáticas presentes en el lago Atitlán.

PLANTAS ESTRICAMENTE ACUÁTICAS PRESENTE EN EL LAGO ATITLÁN		
Emergentes	Flotantes	Sumergidas
<i>Schoenoplectus californicus</i> <i>Typha domingensis</i>	<i>Azolla filiculoides</i> <i>Eichhornia crassipes</i> <i>Lemna valdiviana</i> <i>Spirodela polyrhiza</i> <i>Wolffia sp.</i>	<i>Ceratophyllum demersum</i> <i>Egeria densa</i> <i>Elodea sp.</i> <i>Hydrilla verticillata</i> <i>Najas guadalupensis</i> <i>Potamogeton pectinatus</i> <i>Potamogeton illinoensis</i>

Fuente: DICA/AMSCLAE,2025

Anexo 2. Ubicación de plantas estrictamente acuática y asociada por sitios de monitoreo. (R= Riqueza de especies)



Fuente: DICA/AMSCLAE, 2025



DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL

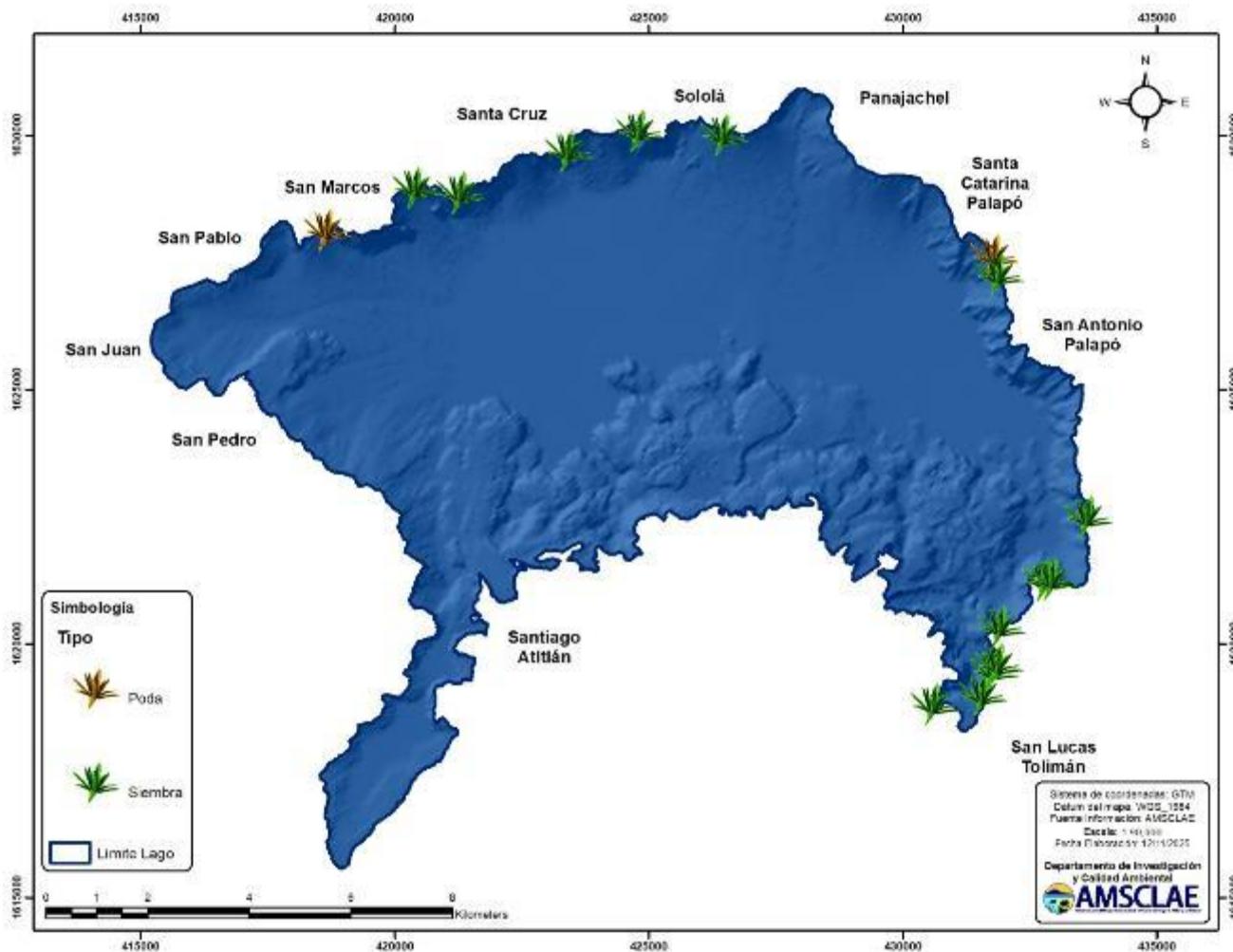
Anexo 3. Abundancia de plantas estrictamente acuática por sitios de monitoreo. Nota: 5 (verde) muy abundante, 4 (verde claro) abundante, 3 (amarillo) frecuente, 2 (anaranjado) ocasional, 1 (rojo) rara.

	<i>Azolla filiculoides</i>	<i>Ceratophyllum demersum</i>	<i>Egeria densa</i>	<i>Eichhornia crassipes</i>	<i>Hydrilla verticillata</i>	<i>Najas guadalupensis</i>	<i>Potamogeton illinoensis</i>	<i>Potamogeton pectinatus</i>	<i>Schoenoplectus californicus</i>	<i>Typha domingensis</i>	<i>Wolffia sp.</i>
Bahía de Santiago Atitlán	3	2	2	4	5				4	3	1
Uxлabil		1	2		4		3		4	1	
Pahuacal					3		3	2	4	4	
El Relleno de San Lucas Tolimán	2	2		2	5				3	3	
Entrada de San Lucas Tolimán					3			2	1	5	
Isla de los Gatos	5	3			5					5	
Tzanhucal					5	1			3	3	
Cebollales					3		2	2	4		
San Pablo La Laguna					5		4		5		
Quiscab					4				4		

Fuente: DICA/AMSCLAE, 2025



Anexo 4. Intervenciones de siembra y poda de tul, 2025



Fuente: DICA/AMSCLAE, 2025



AMSCLAE

¡SALVAR EL LAGO DE ATITLÁN
ES TAREA DE TODOS!