



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y  
AMBIENTALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**“DIVERSIDAD DE LAS MACRÓFITAS EN EL LAGO EUTRÓFICO  
YAHUARCOCHA A TRAVÉS DE LA TÉCNICA DE ADN AMBIENTAL”**

**PLAN DE TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO/A EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**AUTOR:**

Stalin Wladimir Fierro Torres

**DIRECTOR:**

Msc. Velarde Cruz Delia Elizabeth Ing

Ibarra, 2023



**CERTIFICACIÓN TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

Ibarra, 20 de abril 2023

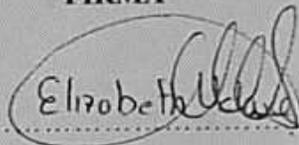
Para los fines consiguientes, una vez revisado el documento en formato digital el trabajo de titulación: "**DIVERSIDAD DE LAS MACRÓFITAS EN EL LAGO EUTRÓFICO YAHUARCOCHA A TRAVÉS DE LA TÉCNICA DE ADN AMBIENTAL**", de autoría del señor FIERRO TORRES STALIN WLADIMIR estudiante de la Carrera de **INGENIERÍA RECURSOS NATURALES RENOVABLES** el tribunal tutor **CERTIFICAMOS** que el autor ha procedido a incorporar en su trabajo de titulación las observaciones y sugerencia realizadas por este tribunal.

Atentamente,

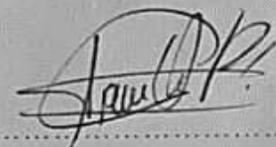
**TRIBUNAL TUTOR**

**FIRMA**

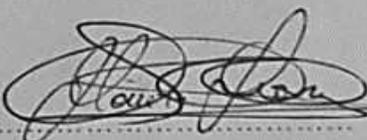
MSc. Elizabeth Velarde  
**DIRECTOR TRABAJO TITULACIÓN**

  
.....

MSc. Tania Oña  
**MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN**

  
.....

MSc. Mónica León  
**MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN**

  
.....



**CERTIFICACIÓN ENTREGA TRABAJO TITULACIÓN**  
**TRIBUNAL TUTOR**

Ibarra, 20 de abril 2023

Para los fines consiguientes, CERTIFICAMOS que el señor FIERRO TORRES STALIN WLADIMIR autor del trabajo de titulación: "**DIVERSIDAD DE LAS MACRÓFITAS EN EL LAGO EUTRÓFICO YAHUARCOCHA A TRAVÉS DE LA TÉCNICA DE ADN AMBIENTAL**", estudiante de la Carrera de **INGENIERÍA RECURSOS NATURALES RENOVABLES** entrega el documento en digital.

Atentamente,

**TRIBUNAL DE GRADO**

MSc. Elizabeth Velarde  
**DIRECTOR TRABAJO TITULACIÓN**

**FIRMA**

MSc. Tania Oña  
**MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN**

MSc. Mónica León  
**MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN**



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1716181639		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Fierro Torres Stalin Wladimir		
DIRECCIÓN:	Quito, Pasaje Jorge Gutiérrez N80-43 y Francisco Terán		
EMAIL:	<a href="mailto:swfierrot@utn.edu.ec">swfierrot@utn.edu.ec</a>		
TELÉFONO FIJO:	(02) 2474502	TELÉFONO MÓVIL:	0995935050

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	"Diversidad de las Macrófitas en el Lago Eutrófico Yahuarcocha a Través de la Técnica de ADN Ambiental"
AUTOR:	Stalin Fierro
FECHA: DD/MM/AAAA	20/04/2023
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería en Recursos Naturales Renovables
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Elizabeth Velarde Msc.

#### 2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 20 días del mes de abril de 2023

EL AUTOR:

(Firma)   
Nombre: Stalin Fierro

## **AGRADECIMIENTO**

*A la Universidad Técnica del Norte por permitirme formarme dentro de esta prestigiosa casa de estudios, a los docentes de la carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables que guiaron mi camino en el curso de la carrera y brindaron sus conocimientos y sabiduría. Al proyecto VLIR-UOS por el apoyo constante a proyectos de investigación ambiental.*

*A la Msc. Elizabeth Velarde, Msc. Tania Oña, Msc. Mónica León, directora y asesoras del presente estudio, por el apoyo y dedicación constante en el transcurso de este trabajo, permitiéndome aprender más en cada inquietud, ayudándome a generar un mejor trabajo.*

*Al equipo de Laboratorio de Investigaciones Ambientales LABINAM conformado por la Ing. Karen Portilla y el Ing. Jonathan Cordovillo, por el apoyo y enseñanzas recibidas en el transcurso de mi investigación.*

*A Marjori, una persona muy especial en mi vida, que me dio su apoyo constante desde que nos conocimos y me ayudo a ser mejor cada día.*

*A mis amigos, Jonathan, John, David, Fabiola, Leticia, Alexis, y todos quienes me acompañaron a lo largo de esta carrera, con quienes compartí experiencias que me ayudaron a crecer como persona e hicieron de esta carrera algo increíble.*

**Gracias a todos**

## **DEDICATORIA**

*Este trabajo y todos mis logros a lo largo de mi vida están dedicados mi madre Narciza, quien me guio, enseñó y formo como persona y siempre me dio su apoyo incansable, siendo el pilar fundamental de mi vida. La vida no me alcanzara para compensar todos sus esfuerzos. A mi familia hermanos, Christian, Diana y Andrés con quienes siempre puedo contar, son parte de este logro. Para mi persona especial, Marjori y para todas las personas que estuvieron a mi lado en este largo camino y que seguirán conmigo.*

*Para mi fiel amiguita de 4 patas, Dory que me acompaño en mi carrera universitaria, en los desvelos y momentos de tristeza hasta el último de sus días*

*~Stalin*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido	Páginas
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b> .....	<b>6</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>10</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>13</b>
1.1. Revisión de antecedentes.....	13
1.2. Problema de investigación y justificación .....	15
1.3. Objetivos .....	16
1.3.1. <i>Objetivo general</i> .....	16
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	16
1.4. Pregunta directriz .....	16
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>17</b>
2.1. Humedales.....	17
2.2. Lagos .....	17
2.3. Macrófitas .....	18
2.3.1. Clasificación de las macrófitas.....	19
2.3.2. <i>Importancia de las macrófitas</i> .....	20
2.4. Análisis temporal .....	21
2.5. ADN ambiental .....	21
2.6. Aplicaciones del ADN ambiental .....	22
2.6.1. <i>Monitoreo de especies por medio de ADN ambiental</i> .....	23
2.6.2. <i>Descripción de abundancia relativa</i> .....	23
2.6.3. <i>Biología de conservación aplicada</i> .....	24
2.6.4. <i>Toma de muestras</i> .....	24
2.7. Marco legal.....	25
2.7.1. <i>Constitución del Ecuador</i> .....	25
2.7.2. <i>Tratados internacionales</i> .....	26
2.7.3. <i>Reglamento al Código Orgánico del Ambiente</i> .....	26
2.7.4. <i>Plan de Creación de Oportunidades</i> .....	27
<b>METODOLOGÍA</b> .....	<b>28</b>

3.1. Área de estudio.....	28
3.1.1. <i>Problemas ambientales</i> .....	29
3.2. Metodología aplicada.....	30
3.2.1. <i>Validar la técnica de ADN ambiental en macrófitas seleccionadas en el lago Yahuarcocha</i> .....	30
3.2.1.1. Recolección de muestras .....	31
3.2.1.2. Conservación de las muestras .....	32
3.2.1.3. Análisis de las muestras .....	32
3.2.1.4. Aislamiento de ADN a partir de las muestras de agua del lago Yahuarcocha	32
3.2.1.5. Reacción en cadena de polimerasa.....	34
3.2.1.6. Validación de resultados secuenciando los productos PCR amplificados en gel de agarosa.....	35
3.2.2. <i>Evaluar la diversidad de las macrófitas del cuerpo lacustre y zona litoral del lago Yahuarcocha</i> .....	35
3.2.2.1. Muestreo <i>in situ</i> del lago Yahuarcocha.....	35
3.2.1.2. Índice de diversidad .....	39
3.2.1.3. Índice de similitud de Jaccard .....	39
3.2.3. <i>Analizar el cambio temporal de las macrófitas del cuerpo lacustre y zona litoral del lago Yahuarcocha</i> .....	40
3.2.3.1. Comparación de las macrófitas presentes con bibliografía y registros retrospectivos del lago Yahuarcocha .....	40
3.2.3.2. Comparación de cobertura de macrófitas por medio de ortofotos .....	40
3.2.3.3. Guía de macrófitas del lago Yahuarcocha. ....	41
3.3. Materiales y equipos .....	41
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>42</b>
4.1. Generación de una base de datos de las macrófitas presentes en el lago Yahuarcocha mediante técnicas de ADN ambiental.....	42
4.1.1. <i>Recolección y extracción de material genético</i> .....	42
4.1.2. <i>Detección molecular de especies a través de ADN ambiental</i> .....	43

4.2. Evaluación la diversidad de las macrófitas del cuerpo lacustre y zona litoral del lago Yahuarcocha.....	46
4.2.1. Índice de diversidad de Shannon-Wiener .....	46
4.2.2. Dominancia de macrófitas por escalas.....	46
4.2.3. Índice de similitud de Jaccard .....	47
4.3.3. Ecología de las especies presentes en el lago Yahuarcocha .....	48
4.3. Análisis el cambio temporal de las macrófitas del cuerpo lacustre y zona litoral del lago Yahuarcocha.....	54
4.3.1. Comparación de la diversidad de macrófitas del lago Yahuarcocha con registros previos.....	55
4.3.2. Comparación de la cobertura de macrófitas por medio de ortofotos.....	58
4.3.3. Guía de macrófitas del lago Yahuarcocha.....	61
4.3.3.1. Forma de uso de la guía. - .....	61
4.3.3.4. Imágenes de la planta.....	63
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>107</b>
5.1. Conclusiones .....	107
5.2. Recomendaciones.....	108
<b>REFERENCIAS. ....</b>	<b>109</b>
<b>ANEXOS. ....</b>	<b>118</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Transectos de muestreo .....	36
<b>Tabla 2.</b> Tamaños de cuadrantes sugeridos para diferentes comunidades de macrófitas .....	37
<b>Tabla 3.</b> Escala de cobertura de especies .....	38
<b>Tabla 4.</b> Materiales.....	41
<b>Tabla 5.</b> Cantidad de ADN obtenido de las muestras .....	42
<b>Tabla 6.</b> Cebadores específicos para especies de macrófitas seleccionadas .....	43
<b>Tabla 7.</b> Secuencias de las especies objetivo .....	44

<b>Tabla 8.</b> Valores semicuantitativos de dominancia de macrófitas en el Lago Yahuarcocha.....	46
<b>Tabla 9.</b> Valores de similitud del índice de Jaccard.....	48
<b>Tabla 10.</b> Lista de especies identificadas para el año 2015.....	55
<b>Tabla 11.</b> Lista de especies identificadas para el año 2022.....	56
<b>Tabla 12.</b> Especies que cambiaron en el periodo 2015-2022.....	57
<b>Tabla 13.</b> Comparación del área de cobertura de las macrófitas.....	60
<b>Tabla 14.</b> Simbología referencial para la guía.....	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Clasificación de las macrófitas .....	20
<b>Figura 2.</b> Ubicación Geográfica del Lago Yahuarcocha.....	28
<b>Figura 3.</b> Metodología aplicada .....	30
<b>Figura 4.</b> Puntos de tomas de muestra de ADN .....	31
<b>Figura 5.</b> Establecimiento de cuadrantes.....	37
<b>Figura 6:</b> Identificación de macrófitas en campo.....	38
<b>Figura 7.</b> Amplificación por electroforesis de productos PCR en gel de agarosa .....	44
<b>Figura 8.</b> Ortofoto correspondiente al año 2011 .....	59
<b>Figura 9.</b> Ortofoto correspondiente al año 2020 .....	60
<b>Figura 10.</b> Disposición de imágenes para la guía de macrófitas .....	63

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

### DIVERSIDAD DE LAS MACRÓFITAS EN EL LAGO EUTRÓFICO YAHUARCOCHA A TRAVÉS DE LA TÉCNICA DE ADN AMBIENTAL

Stalin Wladimir Fierro Torres

#### RESUMEN

Las macrófitas comprenden un grupo de plantas que se han adaptado total o parcialmente a ambientes húmedos, siendo clasificadas como malezas debido a que interfieren con las actividades humanas, sin embargo, su presencia controlada ayuda a la biorremediación y depuración de agentes tóxicos. Con el fin de determinar la diversidad de macrófitas en el lago Yahuarcocha a través de la técnica de ADN ambiental (eDNA), se generó una base de datos de dos especies objetivo, *Bacopa monnieri* y *Lemna minor*, y la evaluación la diversidad de macrófitas en el cuerpo lacustre y zona litoral, así como también se analizó el cambio temporal de cobertura. Se tomaron muestras de ADN a partir de tejido foliar y muestras de agua en 3 puntos a diferentes profundidades, con el fin de trabajar con ADN convencional y ADNe, obteniendo la identificación a nivel molecular de las especies objetivo. Con la aplicación del índice de Shannon-Wiener, se determinó que el lago Yahuarcocha tiene un índice de diversidad medio, con *Eichhornia crassipes* y *Schoenoplectus californicus* como especies dominantes ocupando entre el 10 al 50% de cobertura. Se identificaron 17 especies y se comparó con un listado del año 2015 dentro del cual se cubre el mismo número de especies, sin embargo, existe una variación de 10 especies con la pérdida de 5 especies y la adición de 5 nuevas especies, también se obtuvo el análisis espacial con una variación de 6,7 hectáreas entre los años 2011 (3,39 ha) al 2020 (10,09 ha). El uso del ADNe como herramienta de detección da una perspectiva diferente respecto a la

información previa de Yahuarcocha, incorporando la identificación a nivel molecular de la flora. Dentro de la diversidad actual se resalta que las especies sumergidas han desaparecido en su estado natural.

**Palabras clave:** Identificación molecular, eADN, lago eutrófico, biorremediación.

## ABSTRACT

Macrophytes comprise a group of plants that have adapted totally or partially to humid environments, being classified as weeds because they interfere with human activities, however, their controlled presence helps bioremediation and purification of toxic agents. In order to determine the diversity of macrophytes in Lake Yahuarcocha through the environmental DNA technique (eDNA), a database of two target species, *Bacopa monnieri* and *Lemna minor*, was generated and the diversity of macrophytes in the lake body and littoral zone was evaluated, as well as the temporal change in coverage. DNA samples were taken from leaf tissue and water samples at 3 points at different depths, in order to work with conventional DNA and eDNA, obtaining the molecular identification of the target species. With the application of the Shannon-Wiener index, it was determined that Lake Yahuarcocha has a medium diversity index, with *Eichhornia crassipes* and *Schoenoplectus californicus* as dominant species occupying between 10 to 50% coverage. Seventeen species were identified and compared with a 2015 list within which the same number of species is covered, however, there is a variation of 10 species with the loss of 5 species and the addition of 5 new species, the spatial analysis was also obtained with a variation of 6.7 hectares between the years 2011 (3.39 ha) to 2020 (10.09 ha). The use of eDNA as a detection tool gives a different perspective with respect to previous information from Yahuarcocha, incorporating molecular level identification of the flora. Within the current diversity, it should be noted that the submerged species have disappeared in their natural state.

**Key words:** Molecular identification, eDNA, eutrophic lake, bioremediation.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1.Revisión de antecedentes

Ecuador es considerado como uno de los países con mayor biodiversidad del mundo en cuanto a flora y fauna presentes en una gran variedad de ecosistemas. La región andina, cuenta con paisajes variados como: bosques nublados, valles secos, valles húmedos, páramos secos, páramos húmedos, nieves eternas y humedales. Cada uno de estos ecosistemas se caracteriza por contar distintos tipos de vegetación que se encuentra acorde a sus condiciones bioclimáticas y topográficas (Velásquez, 2014).

Dentro del Inventario Nacional de Humedales e identificación de acciones prioritarias de conservación para los humedales del Ecuador (EcoCiencia, 2009), se identificó e inventario alrededor de 150 humedales, donde se explica la importancia que tienen en los procesos ecológicos dentro de cada ecosistema siendo filtros naturales de agua y amortiguadores de los procesos climatológicos y su relevancia dentro de las actividades en el desarrollo social, económico y ambiental del ser humano. También está evidenciado el alto índice de alteraciones que sufren y que ha desencadenado en la gradual decadencia de los ecosistemas.

En Ecuador, dentro de la variedad de pisos climáticos se pueden encontrar los ecosistemas dulceacuícolas, como las lagunas y los lagos. Dentro del informe de biodiversidad del Ecuador del 2000 (Josse, 2001), los ecosistemas dulceacuícolas son considerados dentro de la clasificación de humedales propuesta por la Convención de Ramsar. Se ha determinado que el país cuenta con 17 tipos de Ecosistemas dulceacuícolas o humedales, los cuales son considerados de gran importancia por el valor productivo, y los servicios ecosistémicos que estos prestan, tales como la recarga de aguas subterráneas, retención y exportación de nutrientes, reservas de biodiversidad, valor cultural, recreación, turismo, mitigación al cambio climático y adaptación al mismo (Gómez, 2005).

Gran parte de la diversidad de humedales dulceacuícolas se encuentran en la provincia de Imbabura, conformando parte de su patrimonio natural. La mayoría de estos se encuentran en estado eutrófico o en proceso de eutrofización producto de las actividades desarrolladas en sus alrededores, como la agricultura y el desecho de residuos sólidos y su vertimiento en los cuerpos de agua (Moreta, 2008).

La contaminación en aguas superficiales es común en Ecuador y se relaciona generalmente a fuentes urbanas y agrícolas, principalmente como consecuencia de asentamientos humanos y el desecho de sus aguas residuales sin un tratamiento previo, que son arrojadas hacia los ríos y consecuentemente liberadas en cuerpos de agua más grandes (Izurieta et al., 2019). Yahuarcocha es uno de los lagos más visitado como atractivo turístico por la comunidad del cantón Ibarra y sus periferias, siendo una de las razones que lo ha convertido en un espacio vulnerable y en un alto proceso de eutrofización por la gran cantidad de nutrientes y detritos que este posee, que es un ente nocivo para la salud del ecosistema, alterando a su componente biótico y los asentamientos aledaños (Moreta, 2008).

Los ecosistemas dulceacuícolas están compuestos de vegetación, cuya composición y características están ligadas con la presencia de agua dentro de su ecosistema, ya sea de forma estacional o permanente (Ministerio del Ambiente de Ecuador, 2010). Las macrófitas comprenden un grupo de plantas que han logrado adaptarse de forma total o parcial a los ambientes dulceacuícolas, han sido catalogadas como malezas por interferir en actividades propias del ser humano. Desde tal punto, se debe denotar que la presencia moderada de este tipo de vegetación ayuda al medio acuático mediante la producción de oxígeno y la depuración de agentes tóxicos (Acosta y Agüero, 2006).

Apoyado en este contexto, se han realizado investigaciones con base en las macrófitas, su distribución y los beneficios que aportan a los ecosistemas acuáticos. En Ecuador, no son comunes los estudios publicados en el campo de la limnología en cuanto a la diversidad de macrófitas, sin embargo, existen aportes como los realizados por Terneus (2002), (2014) sobre el análisis de la distribución de plantas acuáticas en lagunas de los páramos del norte y sur del Ecuador y sus relaciones con los factores

ambientales; y más específico dentro del área del presente estudio, el registro de la vegetación acuática y estado trófico de las lagunas andinas San Pablo y Yahuarcocha.

El estudio más reciente, se lo realizó a fin de determinar la diversidad de especies de macrófitas, su distribución y su relación con los parámetros fisicoquímicos del medio, en dos etapas climáticas distintas con el fin de establecer los cambios en su comportamiento ante la alteración de las variables (Pabón, 2015).

## **1.2. Problema de investigación y justificación**

Los lagos en el Ecuador poseen gran diversidad en cuanto a flora, la cual incluye plantas acuáticas o macrófitas que ayudan a mantener la calidad del agua en óptimas condiciones con el aporte de oxígeno y la asimilación de nutrientes (Terneus, 2002). El país cuenta con poca información acerca de la limnología de los lagos altoandinos y su diversidad, por lo que el conocimiento sobre los sistemas acuáticos es escaso (Casallas y Gunkel, 2001). Sin embargo, los datos obtenidos dentro de estudios previos han sido de gran importancia en el establecimiento de una base para el planteamiento de nuevas investigaciones.

En la Universidad Técnica del Norte se han desarrollado estudios sobre el estado ecológico del lago Yahuarcocha, logrando identificar los principales problemas ambientales y generando propuestas de soluciones para su restauración y conservación (Ortega y Dieguez, 2016). Uno de los resultados de estas investigaciones fue la determinación de las especies de macrófitas existentes. Actualmente se pueden realizar estudios con el mismo objetivo, con la aplicación de nuevas metodologías que permitan validar los resultados con un enfoque más profundo. Este estudio está direccionado en generar una fuente de datos sobre la variedad de especies de macrófitas presentes en el lago Yahuarcocha y su ecología, mediante la extracción y análisis del ADN ambiental, el cual es un método novedoso y confiable, que permitirá actualizar registros previos.

El aporte de esta investigación está enmarcado en el Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025 (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2021), en el Eje4 (Eje Transición Ecológica), dentro del Objetivo 11 (Conservar, restaurar,

proteger y hacer un uso sostenible de los recursos naturales), el cual menciona dentro de sus políticas:

“Promover la protección y conservación de los ecosistemas y su biodiversidad; así como, el patrimonio natural y genético nacional.”

Tomando en cuenta que el eje principal del presente trabajo, por medio del levantamiento de información, que será aprovechable a futuro, enfocados en la conservación del lago Yahuarcocha.

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. Objetivo general***

- Determinar la diversidad de macrófitas en el lago eutrófico Yahuarcocha a través de la técnica de ADN ambiental.

#### ***1.3.2. Objetivos específicos***

- Validar la técnica de ADN ambiental en las especies de macrófitas seleccionadas en el lago Yahuarcocha.
- Evaluar la diversidad de las macrófitas del cuerpo lacustre y zona litoral del lago Yahuarcocha.
- Analizar el cambio temporal de las macrófitas del cuerpo lacustre y zona litoral del lago Yahuarcocha.

### **1.4. Pregunta directriz**

¿Cuáles fueron los cambios en la diversidad de macrófitas en el lago eutrófico Yahuarcocha?

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

Este capítulo abarca la revisión bibliográfica procedente de documentos e investigaciones publicadas, referentes a los temas y conceptos con los cuales se sustenta la actual investigación, aportando una base sustancial.

#### **2.1. Humedales**

Los humedales son espacios de transición entre ecosistemas terrestres y acuáticos donde el suelo presenta humedad permanente. Estas áreas son de inundación temporal o permanente por la descarga natural de acuíferos. Los humedales y espacios con vegetación acuática, a pesar de ocupar superficies de tamaño pequeño en comparación con otros ecosistemas, poseen gran biodiversidad al ser el hábitat de peces, anfibios, aves, invertebrados y plantas, también son suministros de recarga de acuíferos, control de inundaciones y purificación del agua, por lo que la alteración en su equilibrio podría traer devastadoras consecuencias para la existencia de los seres vivos (Heynes et al., 2017).

Los humedales incluyen diversos tipos de hábitat como los pantanos, turberas, ríos, lagos y llanuras de inundación, además de áreas costeras, que no sobrepasen los 6 metros de profundidad. También son tomados en cuenta los cuerpos de agua de origen artificial como los estanques de tratamiento de aguas residuales y los embalses (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2006).

#### **2.2. Lagos**

Los lagos son cuerpos de agua dulce o salada rodeados de tierra que no tienen un flujo o dirección determinada, son recargados por un sistema fluvial. Se ubican en depresiones de terreno medianamente definidas o en lugares donde la superficie del terreno se encuentra cerca al nivel freático. Estos sistemas dan hogar de forma

estacional o permanente a especies vegetales y animales. Estos sistemas forman parte del ciclo hidrológico, y se ven amenazados por la contaminación o la sobreexplotación de estos como recurso para el ser humano, lo que genera un gran desequilibrio ecológico y consecuentemente altera los procesos del ecosistema y su biodiversidad (Borja et al., 2011).

En Ecuador encontramos lagos tropicales de alta montaña o lagos altoandinos, que son una clase muy especial dentro de los ecosistemas acuáticos debido a características como la poca variación de la temperatura a lo largo del año y las variaciones de altura en las que se encuentran entre los 2000 y 4000 m.s.n.m, lo que origina pisos térmicos con rangos de temperatura estables. Una característica adicional de estos cuerpos de agua es el aislamiento geográfico, presentando temperaturas medias que están por debajo de los 20 °C, sus valores de saturación de oxígeno son bajos. Los trabajos limnológicos en el país son muy pocos, dando estudios relevantes a inicios del año 1966 resaltando los primeros datos de productividad, dentro de los cuales se encuentra estudiado el lago San Pablo, con referencia en el impacto de las actividades humanas (Casallas y Gunkel, 2001).

### **2.3. Macrófitas**

El término “Macrófitos acuáticos” o “Macrófitas” hace referencia a las plantas que se pueden diferenciar a simple vista y que al menos sus partes vegetativas estén desarrollándose de forma periódica o permanente en cualquier tipo de hábitats acuáticos, esto apoyado en propiedades del agua como su mayor densidad y su viscosidad en comparación con el aire. Las macrófitas son especies vegetales macroscópicas propias de ecosistemas acuáticos como plantas vasculares, carófitos, briofitos y algas. Tienen la capacidad de colonizar diferentes tipos de ecosistemas acuáticos como lagos, embalses, arroyos, ríos y hasta cascadas, generalmente de poca profundidad. Su presencia es regulada por factores como el periodo de inundación, turbidez del agua, la concentración de nutrientes y la intensidad de la radiación (Thomaz et al., 2008; Gallego, 2015).

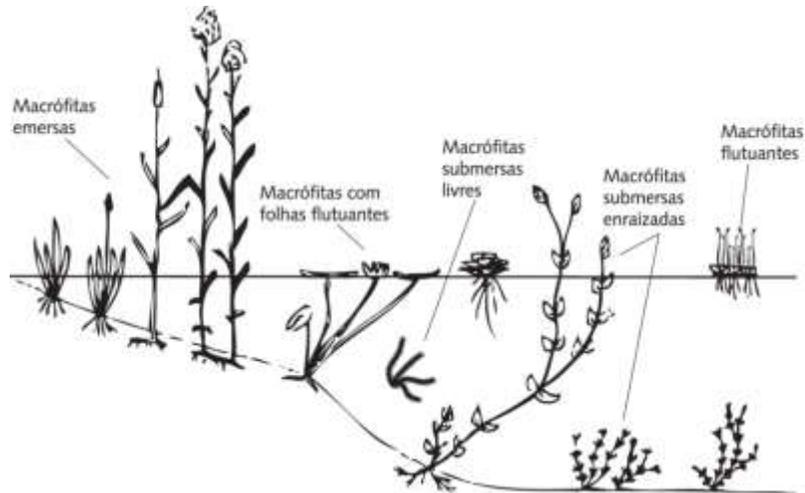
La vegetación macrófita es un componente clave dentro de los ecosistemas acuáticos, debido a su función como productores primarios, son la base de la cadena alimenticia de los herbívoros y de especies detritívoras, que a la vez conforman la dieta de invertebrados, peces y aves acuáticas (Rejmánková, 2011).

### 2.3.1. Clasificación de las macrófitas

A lo largo del tiempo se ha caracterizado a las macrófitas con base en una variedad de criterios. Varios autores han concordado en una misma clasificación. Hutchinson (1975), Merrill y Carole (1985) se enfocaron esencialmente en aspectos de relación con el nivel del agua, el sustrato y el tipo de crecimiento. Actualmente las clasificaciones más aceptadas, mencionadas en el estudio de Rejmánková (2011) corresponden a las categorías de:

- **Macrófitas flotantes.** - Son las que tienen gran parte del tallo y hojas en el agua o por la superficie de la misma, por lo que estas carecen de un sistema de fijación hacia el sustrato. Su morfología es muy reducida, sus órganos reproductores pueden ser aéreos o flotantes, acorde a la especie, al no estar fijadas en un sustrato, su alimentación se basa en la absorción de nutrientes en el agua.
- **Macrófitas de hojas flotantes.** - Poseen pecíolos largos, sus hojas están adaptadas al estrés mecánico del medio, gran parte de su tejido foliar se encuentra apoyado en la superficie del agua, sus órganos reproductores son flotantes o aéreos.
- **Macrófitas emergentes.** - Son aquellas que comúnmente permanecen en la parte superior del agua en la zona litoral, entre el 1 m a los 5 m de profundidad. Sus raíces y rizomas se encuentran adaptados a sedimentos anaerobios y tiene órganos reproductores aéreos. Se categorizan en erguidas y rastreras.
- **Macrófitas sumergidas.** - Son aquellas que tienen la mayoría de su tejido sumergido bajo la superficie del agua, se encuentran adheridas al sustrato. Son de morfología alargada, hojas disecadas flotantes. Se encuentran a

profundidades de hasta 10 m en la zona fótica, por lo que están más adaptadas al medio acuático (Figura 1).



**Figura 1.** Clasificación de las macrófitas

### ***2.3.2. Importancia de las macrófitas***

Las presencias de las macrófitas, según el ecosistema en el que se desarrolla, es un indicador de la calidad ambiental del mismo, así mismo, son asimiladoras y depuradoras de nutrientes de aguas, esto debido a que aprovechan estos compuestos para su desarrollo. Mediante procesos comunes de la naturaleza de las macrófitas aportan en la restauración y mantenimiento de las características físico-químicas y biológicas en los cuerpos de agua, por lo que el uso de esta vegetación acuática para el tratamiento de aguas residuales, tratamiento de suelos y purificación de humedales contaminados, es un método que ha tomado impulso, apoyándose en pequeños estudios y pruebas. Su uso dependerá de las características de nicho, en conjunto, la aplicación de diferentes tipos de macrófitas proporcionarán resultados más efectivos (Cuenca y Carrión, 2009).

## **2.4. Análisis temporal**

El análisis temporal, dentro de un estudio, permite detectar cambios dentro de nuestra área de estudio, entre diferentes fechas de referencia o temporadas, lo que nos permite deducir la evolución del cambio dentro del medio natural o las consecuencias derivadas de actividades antrópicas ligadas a las actividades humanas en el medio (Ruiz y Herrera, 2013).

El análisis temporal está enfocado en caracterizar los cambios de una variable determinada dentro de un tiempo en específico, ya sea a corto, mediano o largo plazo, es decir, este se enfoca en una fecha determinada, a diferencia del análisis multitemporal que se enfoca en el análisis dentro de varios lapsos de tiempo.

## **2.5. ADN ambiental**

El ADN ambiental o eDNA por sus siglas en inglés, se refiere a todas las muestras de ADN procedentes de tejidos o residuos biológicos que se pueden obtener o extraer de muestras ambientales (tierra, agua o aire) sin aislar antes ningún organismo en específico. Está caracterizado por una muestra de ADN genómico de los diferentes organismos presentes dentro del ecosistema muestreado. Dentro del eDNA total se encuentra el ADN originario de células u organismos vivos y ADN extracelular resultante de la muerte celular y posterior destrucción de la estructura celular (Taberlet et al., 2012).

El material genético en el ambiente puede perdurar durante largos periodos de tiempo que pueden ir desde horas en aguas templadas hasta miles de años en ambientes extremadamente fríos, lo cual permite el aislamiento de ADN directo sin ningún otro signo evidente de la presencia de un organismo. La técnica de eDNA ha presentado resultados rápidos, lo que permite al investigador tener la oportunidad de estudiar cualquier especie y su dinámica independientemente de su distribución geográfica y el límite de tiempo de persistencia de esta dentro de un medio (Beng y Corlett, 2020).

La técnica de eDNA está fuertemente relacionada con los métodos de identificación de especies mediante la aplicación de marcadores moleculares, para ello se identifica en función del número de especies para el estudio, ya sea una sola especie (*Barcoding*) o varias especies (*Metabarcoding*), de la misma forma, el marcador molecular dependerá del nivel taxonómico al que se pretende llegar para la identificación. Para el eDNA metabarcoding es necesario utilizar marcadores específicos, que tienen mayor éxito que los marcadores genéricos (Huerta, 2020).

La eficacia de este método se ha comprobado en estudios en ecosistemas acuáticos, como es el caso del estudio de un nuevo enfoque del ADN ambiental para cuantificar la invasión críptica de genotipos no autóctonos de Uchii, (2015) dentro del cual se obtuvo resultados positivos por medio del aislamiento de muestras de ADN a partir de muestras ambientales de agua procedentes de ríos y embalses naturales para su posterior secuenciación mediante PCR en tiempo real. Este estudio reveló la posibilidad de una técnica prometedora en el seguimiento cuantitativo en ecosistemas acuáticos.

## **2.6. Aplicaciones del ADN ambiental**

El número de los estudios relacionados al ADN ambiental han crecido de forma considerable desde el año 2012, debido a que cuenta con varias ventajas sobre los métodos tradicionales, debido a la mayor probabilidad de la detección de especies, principalmente en especies de densidades bajas y una identificación taxonómica más alta en determinados casos. Al no necesitar realizar ningún tipo de captura para la detección de la presencia o ausencia, este método presenta menor esfuerzo en su aplicación, de igual manera lo hace más rentable en comparación a metodologías tradicionales (Herder et al., 2014). El método de eDNA integra varias aplicaciones, como:

### ***2.6.1. Monitoreo de especies por medio de ADN ambiental***

La extracción e identificación de ADN de una muestra ambiental ha demostrado ser una técnica viable para la detección y monitoreo tanto de especies comunes como aquellas que se encuentran en peligro de extinción, que son invasivas y especies que son endémicas (Bohmann et al., 2014).

En la última década, expertos en el área de la microbiología han realizado estudios correspondientes al análisis del ADN ambiental de diferentes medios en varios tipos de ecosistemas, a fin de obtener acceso a la información genética de organismos que no son cultivables (Taberlet et al., 2012).

La técnica de eDNA ha sido una herramienta que se ha visto limitada en especies animales, por lo que, se han realizado investigaciones para su aplicación en la detección y vigilancia de especies de plantas acuáticas invasoras mediante el uso de regiones del genoma cloroplasto, diseñando marcadores específicos para las especies objetivo, obteniendo resultados positivos con base en la identificación por medio del aislamiento de ADN a partir de muestras de agua, estableciendo la técnica de eDNA como una herramienta óptima en la detección y vigilancia de especies de plantas invasoras (Scriver et al., 2015).

### ***2.6.2. Descripción de abundancia relativa***

La técnica del eDNA es un método de gran potencial, que se ha convertido en una herramienta útil en la investigación de la distribución de especies (presencia/ausencia) y biomasa (abundancia) de organismos acuáticos, y así obtener información en tiempo real, importante para la gestión del manejo de ecosistemas acuáticos (Doi et al., 2020).

Por medio de un análisis cuantitativo mediante eDNA se puede inferir más allá de la presencia-ausencia de una especie a su abundancia relativa en un ecosistema. A pesar de que las medidas de presencia-ausencia proporcionan indicadores de diversidad biológica, a menudo son insuficientes para vincularla con el funcionamiento del

ecosistema. A sí mismo, la capacidad de detectar especies nativas o en peligro presenta un claro valor de conservación, pero no necesariamente indica persistencia de estas especies dentro del ecosistema muestreado. Estas aplicaciones para estudios nos permiten revelar cambios estacionales en distintos factores como la alimentación, reproducción, depredación, competencia y uso de microhábitat (Bohmann et al., 2014).

### ***2.6.3. Biología de conservación aplicada***

El eDNA es una herramienta fuerte en el campo de la conservación aplicada, con la inclusión de la detección temprana de especies invasoras y patógenas, y el monitoreo de especies de difícil detección, mediante distintas metodologías, en diferentes medios. De esta forma se pueden proporcionar alternativas de manejo para especies en peligro o especies invasoras, de modo que se mantenga un ecosistema sano y equilibrado (Bohmann et al., 2014).

La técnica de eDNA abarca distintos enfoques dentro del estudio de la Ecología, como lo es la detección y seguimiento de especies raras, críticas y en peligro de extinción; estimación de la distribución de especies; biomonitoreo de la salud y la dinámica de los ecosistemas; dieta e interacciones tróficas; monitoreo de biodiversidad y conservación y ecología de desove. Al ser una técnica novedosa, presenta retos y limitaciones, sin embargo, es un método que se encuentra bien posicionado dentro de los avances en investigación de la Ecología, biodiversidad y evolución (Beng y Corlett, 2020).

### ***2.6.4. Toma de muestras***

El uso de muestras de agua para monitorear especies invasivas es el método más conocido y estudiado con el eDNA (Herder et al., 2013). Este método se basa en la recolección de muestras de agua de distintos lugares dentro del área de estudio, con el objetivo de englobar más espacio y las probabilidades de capturar ADN de la especie de interés sean mayores (Riascos, 2017).

El muestreo de eDNA se basa en los parámetros de tiempo y temperatura, ya que la conservación de las muestras puede variar en función de estos. En términos de tiempo, existen dos etapas claves para la conservación de la muestra: la primera etapa que se refiere al tiempo transcurrido desde que la muestra se libera en el medio hasta ser recolectada, y la segunda que se refiere al transcurso desde la recolección y el transporte. En términos de temperatura puede variar según la naturaleza de la muestra, recomendando que el almacenamiento se efectúe en congeladores de -20 °C (para análisis a corto plazo) o a -80 °C (para análisis a largo plazo). Se ha reportado que las muestras tomadas de agua se pueden conservar en temperatura ambiente durante 14 días, posterior a ello inicia el proceso de degradación de la muestra (Huerta, 2020).

Para realizar el muestreo en ecosistemas acuáticos, generalmente se sumergen tubos de centrífuga o frascos de vidrio ligeramente por debajo del espejo de agua o la profundidad a la que se pretenda evaluar hasta completar el volumen requerido que puede variar desde los 15 ml. En adición se puede mezclar con acetato de sodio y etanol absoluto para su posterior almacenamiento en hielo y su congelación en una temperatura promedio de - 80°C, de forma que la muestra se pueda preservar por grandes lapsos de tiempo que pueden llegar a décadas (Reyes, 2018).

## **2.7. Marco legal**

En esta sección se enmarca la base legal en el que se sustenta el presente estudio, con el fin de delimitar el alcance de este.

### ***2.7.1. Constitución del Ecuador***

La Constitución del Ecuador es la norma suprema en el ámbito jurídico del estado y prevalece sobre cualquier otra norma jurídica. En el Título II, Art. 14 y Art. 71 enmarca la importancia del ambiente sano y equilibrado, como un derecho de la naturaleza, así como su regeneración y el buen manejo del mismo. En el Título VI, Art. 318 enmarca la importancia del recurso agua como patrimonio nacional estratégico,

que constituye un elemento vital de la naturaleza. En el Título VII, Art. 404 referente a la importancia del patrimonio natural desde el enfoque biológico, geológico y científico, da exigencia a su protección, conservación y recuperación, esto de acuerdo con el ordenamiento territorial. El Art. 411 garantiza la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos asociados al ciclo hidrológico, así como la regulación de las actividades que puedan afectar la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos. En este sentido, el presente estudio está enfocado en los ecosistemas lacustres y su vegetación (Constitución de la República del Ecuador, 2018).

### ***2.7.2. Tratados internacionales***

Dentro del Plan Estratégico 2016-2024 del convenio Ramsar hace referencia a la importancia de los humedales, principalmente por su potencial como hábitat de una gran diversidad de avifauna, en este contexto enmarca la prioridad de implementar acciones de protección en cuanto a la pérdida y degradación de los humedales (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2006).

En el Art. 12 Investigación y capacitación, del Convenio de Diversidad Biológica enmarca el apoyo a proyectos de investigación que contribuyan a la conservación y buen manejo de la diversidad biológica, esencialmente en países en vías de desarrollo, como lo es Ecuador (ONU, 1992).

### ***2.7.3. Reglamento al Código Orgánico del Ambiente***

En el título V (Acceso a los recursos genéticos), en el Art. 220, que enmarca el acceso a los recursos o diversidad genética de especies provenientes de áreas calificadas como vulnerables, así como se enmarca las limitaciones en el Art. 227, punto importante para tomar en cuenta dentro del presente estudio, debido a la metodología empleada (Ministerio de Ambiente y Agua, 2019).

En el título VII (Ecosistemas Frágiles), en el Art. 260 y Art. 261, hacer referencia a la importancia de los ecosistemas de páramo y dulceacuícolas para el desarrollo con base en las fuentes hídricas, y definir, así como zonas prioritarias para conservación aquellas que estén alteradas por actividades humanas (Ministerio de Ambiente y Agua, 2019).

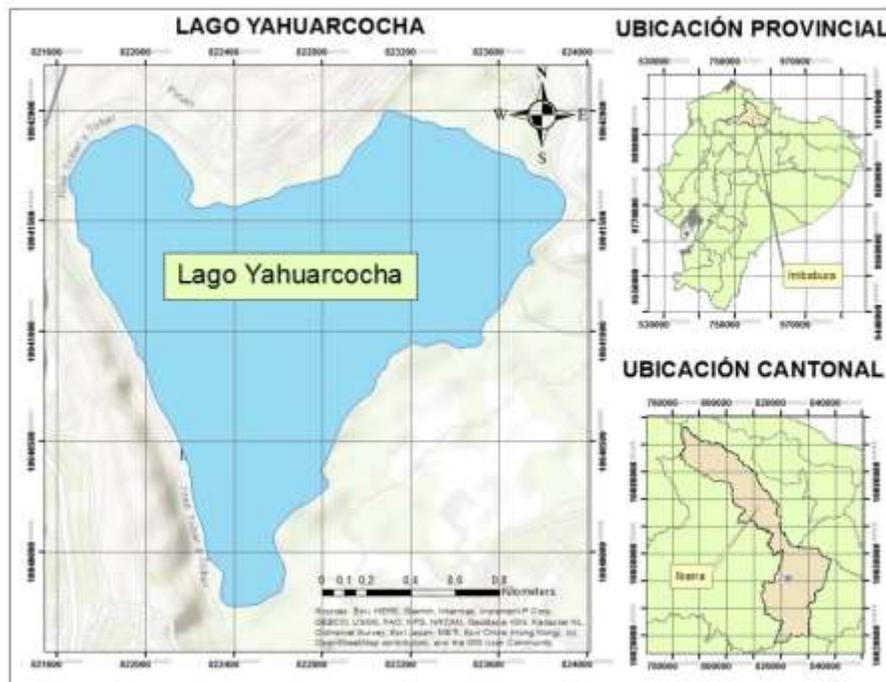
#### ***2.7.4. Plan de Creación de Oportunidades***

Dentro del eje 4 Transición Ecológica, Objetivo 11 Conservar, restaurar, proteger y hacer un uso sostenible de los recursos naturales, menciona dentro de sus políticas: “Promover la protección y conservación de los ecosistemas y su biodiversidad; así como, el patrimonio natural y genético nacional” logrando resaltar la importancia del recurso hídrico dentro del progreso a nivel nacional, para así priorizar el uso y aprovechamiento sostenible del agua y así establecer la importancia del cuidado de los ecosistemas acuáticos, así como su flora y fauna. Dentro del presente estudio se enfatizará en la flora de los ecosistemas acuáticos y el levantamiento de información sobre los mismos (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2021).

## CAPÍTULO III METODOLOGÍA

### 3.1. Área de estudio

Yahuarcocha, es un lago de origen glaciar ubicado en la provincia de Imbabura, en el cantón Ibarra a 3 Km de la ciudad de San Miguel de Ibarra (Figura 2), en la parroquia de La Dolorosa del Priorato, a una altura de 2200 m s. n. m (Ministerio de Ambiente, 2015). Se encuentra ubicado en las elevaciones de la cordillera de los Andes, cuyas coordenadas son  $00^{\circ}22'32,2''$ (N) y  $078^{\circ}06'6,5''$  (Portilla, 2015).



**Figura 2.** Ubicación Geográfica del lago Yahuarcocha

Su cuenca de drenaje ocupa 2 530 ha, con una profundidad de 7 m, posee tres entradas principales; las Quebradas de Manzanahuayco-Santo Domingo, Polo Golo y San Antonio, de las cuales se alimenta de forma natural por el escurrimiento resultante

de las precipitaciones, sin tomar en cuenta las acequias del río Tahuando que la alimentan de forma artificial (Maridueña et al., 2011).

El clima es ecuatorial mesotérmico semihúmedo con precipitaciones que varían entre los 500 mm a 750 mm. La temperatura media anual varía con respecto a la altitud desde los 5 °C en la zona alta, alcanzando hasta los 25 °C en la zona baja. Su principal cuenca de recepción se encuentra entre los 3000 y los 3780 msnm, comprendiendo las zonas de vida de bosque húmedo Montano y la transición de bosque húmedo Montano y bosque muy húmedo Montano. No cuenta con crecidas recurrentes por su relieve accidentado y muy fuerte, lo que le da su forma característica oval-oblonga (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra, 2015).

### ***3.1.1. Problemas ambientales***

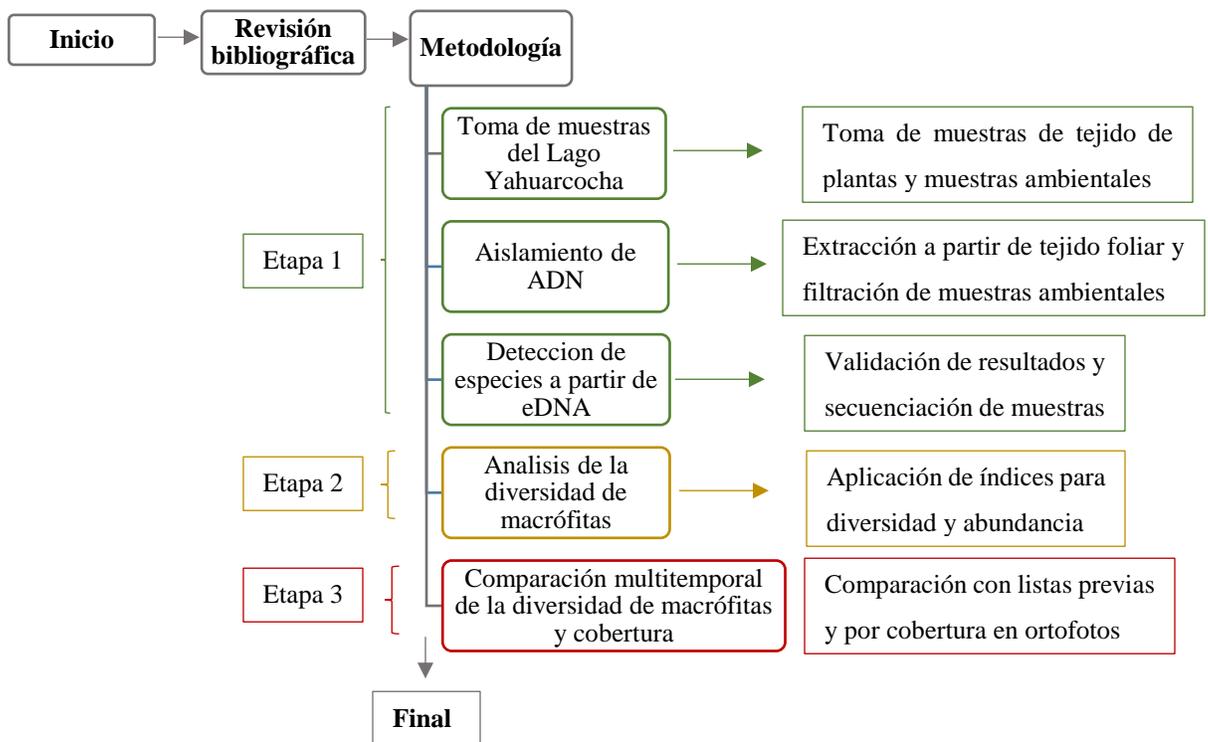
El lago Yahuarcocha y sus alrededores se han visto afectados de forma gradual por la continua actividad humana como el vertido de aguas con detergentes, basura, aguas servidas descargadas en las zonas de crecimiento de especies de vegetación acuática (totora y colla) y desechos orgánicos como excretas y orinas procedentes de ganado y animales domésticos que suelen estar a los alrededores que han generado un exceso de nutrientes al cuerpo de agua provocando el rápido proceso de eutrofización. También se debe tomar en cuenta los problemas relacionados con la alteración de la diversidad del lago, como la extracción de vegetación acuática y la introducción de especies exóticas. Estos problemas representan una amenaza para la calidad del agua del lago y a las especies que habitan en este ecosistema (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra, 2015).

El manejo inadecuado de la vegetación acuática puede representar un grave problema para el estado de su ecosistema, ya que muchas de estas especies pueden ser nativas de otras regiones del mundo, convirtiéndolas en especies invasoras en nuestro medio. El exceso de especies de macrófitas flotantes pueden generar inconvenientes con las especies sumergidas debido al impedimento del ingreso de luz al cuerpo de agua. Así mismo, al ser material orgánico, su descomposición genera cantidades de

materia orgánica sobre el límite que puede tolerar nuestro ecosistema, alterando su estado ecológico (Pompeo, 2008).

### 3.2. Metodología aplicada

Para el presente proyecto de investigación se llevó a cabo con la siguiente metodología (Figura 3), en conformidad al tema de estudio y los objetivos planteados.



**Figura 3.** Metodología aplicada

#### 3.2.1. Validar la técnica de ADN ambiental en macrófitas seleccionadas en el lago Yahuarcocha

Para dar respuesta al presente objetivo se seleccionó como especies objetivo a *Bacopa monnieri* y *Lemna minor* basado en su importancia ecológica y la valides de

los marcadores específicos destinados a su detección. Se tomaron muestras de tejido de las macrófitas y muestras de agua en el Lago Yahuarcocha (Figura 4), para la extracción de ADN y comparar con la técnica de eDNA.

**3.2.1.1. Recolección de muestras.** - En el caso de muestras de tejido se obtuvo a partir de tejido foliar joven, debido a que contiene mayor cantidad de células que el tejido viejo y requiere menos esfuerzo de extracción. Una vez colectada la muestra de tejido debe refrigerarse desde el transporte hasta su almacenamiento (cadena de frío) previo a la extracción (Alejos et al., 2014). Para la recolección de eDNA, se tomaron siete muestras en tres puntos distintos entre zona litoral y centro del lago. Para las muestras de la zona litoral se colectó a dos profundidades, mientras que, para el centro del lago a tres profundidades (Figura 4).

El equipo para utilizar en el trabajo de muestreo (botas, guantes, botellas, entre otros) debe ser esterilizado debidamente con etanol al 70%, antes de ingresar al lago. La botella debe ser enjuagada con agua del lago mínimo 3 veces, la muestra se tomó a una profundidad inicial de 10 cm y una segunda toma a 30 cm de profundidad en el caso de la zona litoral. Para la zona central se tomó a cada 3 m de profundidad. La botella debe cerrarse dentro del agua para evitar que se queden burbujas al interior, y la muestra se contamine.



**Figura 4.** Puntos de tomas de muestra de ADN

**3.2.1.2. Conservación de las muestras.** - La conservación del material biológico desde que es liberado del espécimen, hasta su colecta es de gran importancia. El material orgánico se degrada de forma gradual, las condiciones de almacenamiento influyen directamente en la velocidad de dicho proceso. La conservación del ADN está ligado a los parámetros tiempo y temperatura (Huerta, 2020).

El protocolo generalmente propuesto para el almacenamiento consiste en mantener las muestras en la etapa de transporte a 4 °C hasta llegar al punto de almacenamiento y trasladarlas a congeladores de criocongelación con temperaturas de -20 °C ubicados en el Laboratorio de Investigaciones Ambientales UTN (LABINAM). Las muestras colectadas del lago Yahuarcocha fueron recogidas utilizando botellas esterilizadas y etiquetadas debidamente.

**3.2.1.3. Análisis de las muestras.** - En función de la naturaleza de la muestra se utilizó un kit de extracción. Para la extracción de ADN de tejido vegetal se recomienda el uso del kit DNeasy PowerSoil. El enfoque del estudio hacía varias especies de macrófitas representa el uso de cebadores específicos o genéricos. Los cebadores utilizados tuvieron una longitud en pares de bases lo bastante cortas para tener la posibilidad de unir los fragmentos degradados de ADN de la muestra (Huerta, 2020). Para el presente estudio se utilizó un fragmento de la cadena grande de la enzima de la ribulosa bifosfato carboxilasa (rcbL).

**3.2.1.4. Aislamiento de ADN a partir de las muestras de agua del lago Yahuarcocha.** - El aislamiento de ADN se realizó tanto para la identificación con ADN común (directo de la planta), como de ADN ambiental, cada uno basado en pasos establecidos con protocolos aprobados. Para la extracción del ADN común, el cual se utilizó como un control positivo, se tomaron muestras de tejido foliar y se aplicó el protocolo del kit de extracción de KAPA BIOSYSTEMS (KAPA Biosystems, 2022):

- Se maceró la muestra rigurosamente durante 20 min y almacenó en un tubo eppendorf.
- Agregó 10 µl de tampón 10x Extracto KAPA Express.

- Agregó 2  $\mu$ l de enzima KAPA.
- Agregó 100  $\mu$ l de agua para PCR.
- Incubó por 10 min a 75 °C.
- Incubó nuevamente por 5 min a 95 °C, para desactivar la enzima.
- Agitó la reacción durante 3 seg.
- Centrifugó a máxima potencia durante 1 min.
- Transferió el sobrenadante ADN en un tubo nuevo.
- Utilizó 1  $\mu$ l de extracto de ADN directamente para PCR.
- Diluyó el tampón TE para su almacenamiento a -20 °C.

Para la extracción de ADN ambiental a partir de muestras de agua del lago Yahuarcocha se aplicó el protocolo utilizado en el estudio de detección de la especie invasora *Procambarus clarkii* en el lago Yahuarcocha (Riascos, 2017), mediante los siguientes pasos:

- Se filtró las muestras de agua a través de membranas de nitrocelulosa de 45 micras de diámetro. Cada membrana se cortó a la mitad y se dividió en partes minúsculas para ser colocadas en tubos eppendorf de 1,5 ml que se utilizarán en el proceso de extracción de ADN.
- Se añadió 1,3  $\mu$ l de proteinasa K en los tubos con membrana a una concentración de 50  $\mu$ g/ $\mu$ l diluido en  $\mu$ L de Tissue and Cell Lysis Solution, agitando por 5 min.
- Se incubaron los tubos con muestras a 65 °C durante 40 min, agitando cada 10 min.
- Se transfirió el líquido a otro tubo eppendorf estéril de 1,5 ml y se desechó el tubo con membrana.
- Se añadió 1,3  $\mu$ l de RNasa a una concentración de 5  $\mu$ g/ $\mu$ l en cada muestra y se agitó durante 5 min. Luego se incubó a 37 °C durante 30 min en baño maría.
- Se colocaron las muestras en hielo durante 15 min.
- Se añadió 233  $\mu$ l de MPC [Protein Precipitation Reagent] a cada muestra y se agitó por 1 min.

- Se centrifugó para obtener un pellet y un sobrenadante. El sobrenadante se transfirió a un tubo eppendorf de 1,5 ml, y el pellet fue desechado.
- Se agregó 500  $\mu$ l de isopropanol frío al sobrenadante y se agitó invirtiendo el tubo a mano 40 veces.
- Se centrifugó la muestra a 10000 g durante 10 min a 4 °C.
- Nuevamente se obtuvo un pellet y un sobrenadante, se debió pipetear minuciosamente el sobrenadante sin que el pellet se desprege del tubo y se lo desechó. El pellet se lo lavó dos veces con etanol frío al 70%.
- Se removió los restos de etanol y se secó los tubos durante 3 horas a temperatura ambiente.
- El pellet se resuspendió en 20  $\mu$ l de agua estéril ultrapura.

**3.2.1.5. Reacción en cadena de polimerasa.** - Para la reacción de polimerasa (PCR) se utilizó Master Mix PCR Taq phussion® en un termociclador Mastercycler® Nexus, con un volumen por muestra de 0,5  $\mu$ l de Taq ADN polimerasa, 1,25  $\mu$ l de cebador Forward, 1,25  $\mu$ l de cebador Reverse, 5  $\mu$ l de Buffer GC, 1  $\mu$ l DE MgCl<sub>2</sub>, 3  $\mu$ l de muestra de ADN y 12,5  $\mu$ l de agua. Las temperaturas para las concentraciones fueron de un ciclo de 95 °C por 10 minutos, en consecuencia, 30 ciclos de 95 °C por 30 minutos, 62 °C por 1 minuto, 72 °C por 30 minutos y 72 °C por 5 minutos (Novoa, 2019).

**3.2.1.6. Validación de resultados secuenciando los productos PCR amplificados en gel de agarosa.** - Para la determinación de la calidad de las muestras de ADN se realizó la electroforesis en gel de agarosa. Este proceso se realizó con 50 ml de tampón TBE 0.5X (Tris, Borato, EDTA, Agua) diluido al 1% para la muestra. Para la cuantificación de los fragmentos del producto PCR se utilizó gel de agarosa al 1.5% en 80 ml de tampón TBE 1X (Tris, Borato, EDTA, Agua). Se le añadió 5 µl de tinte de cianina Syber safe, como colorante de ácidos nucleicos. Posterior a la solidificación del gel se introdujo en la cámara de electroforesis con la adición de tampón TBE 1X para cubrir el gel.

El análisis de los fragmentos de ADN se realizó con 3 µl de ADN mezclado con 1 µl de loading dye (Thermo Scientific 6X DNA) y con la adición de 5 µl del producto PCR, debido a la concentración de loading dye en el Taq Polimerasa. Los productos son cargados pocillos del gel, con un voltaje de 135 V entre 30 para el ADN y 40 minutos para el producto PCR. Para la revelación del gel se utilizó el transiluminador Safe Imager™ Blue-Light Transilluminator UV (Riascos et al., 2018).

### ***3.2.2. Evaluar la diversidad de las macrófitas del cuerpo lacustre y zona litoral del lago Yahuarcocha***

Para el cumplimiento de este objetivo se realizaron salidas de campo de manera continua alrededor del área de estudio, con el fin de recoger información pertinente sobre la diversidad de macrófitas.

**3.2.2.1. Muestreo *in situ* del lago Yahuarcocha.** - El muestreo para el análisis de la diversidad de macrófitas se realizó en diferentes puntos del lago Yahuarcocha, que han sido registrados previamente por un sistema de posicionamiento global (GPS) (Tabla 1).

**Tabla 1.** Transectos de muestreo

Transecto	Punto	Coordenadas		Altitud (msnm)
		Latitud (N)	Longitud	
<b>T1</b>	1	10041427	821668	2205
	13	10041438	21691	2199
<b>T2</b>	2	10040704	822032	2207
	14	10040715	822070	2197
<b>T3</b>	3	10039923	822302	2206
	15	10039942	822318	2197
<b>T4</b>	4	10039831	822653	2193
	16	10039815	822632	2197
<b>T5</b>	5	10040209	822853	2199
	17	10040269	822794	2198
<b>T6</b>	6	10040675	823146	2198
	18	10040742	823087	2198
<b>T7</b>	7	10040851	823545	2191
	19	10040931	823515	2198
<b>T8</b>	8	10041521	823920	2207
	20	10041523	823879	2179
<b>T9</b>	9	10041980	823630	2201
	21	10041856	823584	2201
<b>T10</b>	10	10042064	823281	2203
	22	10041974	823284	2203
<b>T11</b>	11	10041711	822661	2194
	23	10041648	822693	2203
<b>T12</b>	12	10041804	822139	2195
	24	10041794	822120	2195

*Nota.* La presente tabla es una adaptación de la publicación de Pabón (2015). *Distribución y evaluación de la vegetación macrófita en el lago Yahuarcocha, provincia de Imbabura*, pág. 69

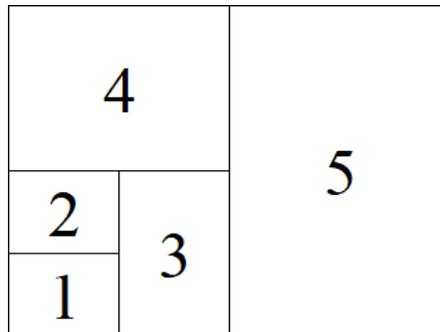
Se realizó el muestreo dentro de 24 puntos ubicados entre la parte acuática y terrestre (Tabla 1), con 12 puntos para cada zona distribuidos en 12 transectos (Anexo 1) establecidos con un área homogénea de manera que abarquen la totalidad de la zona litoral del lago. (Pabón, 2015).

Para contabilizar las especies de macrófitas se establecieron cuadrantes de forma aleatoria en las franjas más representativas de la zona litoral y cuerpo de agua, con un área estándar, inicialmente con el menor tamaño posible, paulatinamente se duplicó el tamaño y, de igual forma se contabilización porcentualmente las especies presentes (Figura 5). El tamaño de los cuadrantes dependió del tipo de vegetación predominante dentro del área de estudio, descritos en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Tamaños de cuadrantes sugeridos para diferentes comunidades de macrófitas

Tipo de vegetación	Tamaño del cuadrante
Comunidades de pequeñas flotantes libres	0.5 x 0.5 m
Comunidades de especies sumergidas, flotantes libres grandes, flotantes enraizadas y emergentes	1 x 1 m – 5 x 5 m
Comunidades arbóreas o arbustivas	10 x 10 m – 50 x 50 m

*Nota.* La presente tabla es una adaptación de la publicación de (Arocena y Conde, 2016)



**Figura 5.** Establecimiento de cuadrantes

*Nota.* Representación gráfica de la secuencia del levantamiento de cuadrantes, duplicando su tamaño cinco veces.

La cuantificación se realizó de forma visual (Figura 6), tomando en cuenta los individuos presentes en un cuadrante inicial de 5 m<sup>2</sup> el cual se duplicó paulatinamente en cinco ocasiones. La contabilización se realizó con la ayuda de una tabla de abundancias expresadas en escalas y porcentajes de coberturas descritos en la Tabla 3, con el fin de estimar la diversidad de macrófitas presentes y su abundancia dentro de

cada uno de los transectos de muestreo. Esta información fue recopilada en una libreta de campo a fin de registrar la proporción y diversidad de especies encontradas.



**Figura 6:** Identificación de macrófitas en campo

**Tabla 3.** Escala de cobertura de especies

		Abundancia por especie	Porcentaje de cobertura (%)
Escala	Descripción		
1	Rara	Individuos Aislados	
2	Ocasional	1 – 10%	
3	Frecuente	10 – 50%	
4	Abundante	50 – 70%	
5	Muy Abundante (dominante)	> 70%	

*Nota.* La presente tabla es una adaptación de la publicación de Cirugano et al., 2005.

**3.2.1.2. Índice de diversidad.** - Se realizó el cálculo con base en los datos obtenidos del levantamiento aleatorio de cuadrantes, aplicando el índice de Shannon-Wiener (Ecuación 1) para la diversidad, que es uno de los índices más utilizados para poder determinar la diversidad de especies vegetales dentro de su ecosistema (Mostacedo y Fredericksen, 2000). Se lo calculó por medio de la siguiente fórmula:  
Ecuación 1

$$H = - \sum Pi * \ln Pi$$

Donde:

*H*: Índice de Shannon-Wiener

*Pi*: Abundancia relativa

*ln*: Logaritmo natural

El resultado obtenido del índice se lo interpretó con valores que varían entre 1 y 5, siendo los valores menores a 2 representantes de diversidad baja, de 2 a 3,5 representantes de diversidad media y superiores a 3,5 como representantes de diversidad alta.

**3.2.1.3. Índice de similitud de Jaccard.** - Se lo representó con base en un intervalo de valores que van desde cero, que indicó que no hay especies compartidas entre áreas, a uno, que significa que se comparten especies entre áreas. De acuerdo con esto, se pudo determinar la presencia o ausencia de una especie en diferentes sectores dentro del área de estudio (Álvarez et al., 2004). Se lo calculó con la siguiente fórmula:

$$I_j = \frac{c}{a + b - c}$$

Donde:

*a*: Número de especies en el sitio A

*b*: Número de especies en el sitio A

*c*: Número de especies compartidas

### ***3.2.3. Analizar el cambio temporal de las macrófitas del cuerpo lacustre y zona litoral del lago Yahuarcocha***

Con base en la recopilación de datos bibliográficos y los datos obtenidos en los objetivos previos se analizó el cambio de la diversidad de las macrófitas. De igual forma se realizó un análisis por medio de herramientas informáticas.

**3.2.3.1. Comparación de las macrófitas presentes con bibliografía y registros retrospectivos del lago Yahuarcocha.** - Con la ayuda de los datos obtenidos con los índices de diversidad de Shannon (diversidad) (Rodríguez et al., 2017) y, mediante la revisión bibliográfica de los registros de Pabón (2015) de la diversidad de macrófitas del lago Yahuarcocha y con los datos resultantes del procedimiento de detección de especies presentes por medio de la técnica de ADN ambiental, se realizó el análisis temporal de las especies que estuvieron presentes en un transcurso de tiempo determinado.

**3.2.3.2. Comparación de cobertura de macrófitas por medio de ortofotos.** - Se evaluaron dos periodos de tiempo correspondientes al año 2011 y 2020, adquiriendo fotografías aéreas por medio del geportal del Sistema Nacional de Información de Tierras e Infraestructura (SIGTIERRAS). Por medio del uso del software Arc.Gis 10.4 se realizaron los siguientes pasos:

- Se evaluó el NDVI en el lago de Yahuarcocha.
- Se transformó el raster de NDVI a formato de shapefile.
- Se estableció el factor que nos permitió discriminar la vegetación macrófita de vegetación terrestre.
- Se realizó el cálculo del área obtenida.

**3.2.3.3. Guía de macrófitas del lago Yahuarcocha.** - Para la elaboración de la guía de las especies de macrófitas se realizó la recolección de material fotográfico, para la posterior identificación con base en referencias bibliográficas de vegetación dulceacuícola. Se complementó la información bibliográfica con la fotográfica para una mejor identificación, acompañada de una ficha informativa sobre la especie abarcando aspectos de: clase, familia, género, características generales, taxonomía, distribución y hábitat (Pabón, 2015).

### 3.3. Materiales y equipos

Para el presente estudio se utilizaron distintos materiales tanto para la fase de laboratorio como para la fase de campo y de oficina.

**Tabla 4. Materiales**

<b>Materiales de Campo</b>	<b>Materiales de Laboratorio</b>	<b>Materiales de Oficina</b>
Cámara fotográfica semiprofesional Sony Alpha330	Etanol al 70%	Computadora portátil
Libreta de campo	Proteinasa K	Impresora
Fichas de campo	Balanza digital	
GPS	Tubos Eppendorf esteriles	
Cooler	Membranas de nitrocelulosa	
Botellas de vidrio de 1000 ml estériles	Centrifuga refrigerada para tubos Eppendorf	
Vadeador	Micropipetas y puntas	
Alcohol	Vortex	
	Baño María	
	transiluminador Safe Imager™ Blue-Light Transilluminator UV	
	Cámara de electroforesis	
	Transiluminador	
	Syber Safe	
	Gel de agarosa	
	Master Mix PCR Taq with dye amb	
	DNeasy PowerSoil	

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se recopilan los resultados obtenidos por cada objetivo planteado en la presente investigación.

#### 4.1. Generación de una Base de Datos de las Macrófitas Presentes en el lago Yahuarcocha Mediante Técnicas de ADN Ambiental

En este apartado se muestra los resultados obtenidos a partir de la metodología aplicada para dar respuesta al primer objetivo específico.

##### 4.1.1. Recolección y extracción de material genético

El material genético obtenido a partir de muestras de plantas recolectadas del lago Yahuarcocha y conservadas *ex situ*, así como también de muestras de agua, fueron tratadas para la posterior extracción de ADN, mismo que fue cuantificado (Tabla 5) para asegurar que se contó con cantidades óptimas de ADN, siendo la cantidad mínima los 20 ng/ $\mu$ l.

**Tabla 5.** Cantidad de ADN obtenido de las muestras

Especie / Procedencia	Cantidad de ADN (ng/ $\mu$ l)
<i>Bacopa monnieri</i>	1428 ng/ $\mu$ l
<i>Lemna minor</i>	1176 ng/ $\mu$ l
ADN ambiental	764 ng/ $\mu$ l
ADN ambiental	1336 ng/ $\mu$ l

El material genético se obtuvo a partir de tejido foliar joven y de muestras de agua del área de estudio que fueron posteriormente tratadas acorde a los protocolos establecidos en el capítulo de metodología.

#### 4.1.2. Detección molecular de especies a través de ADN ambiental

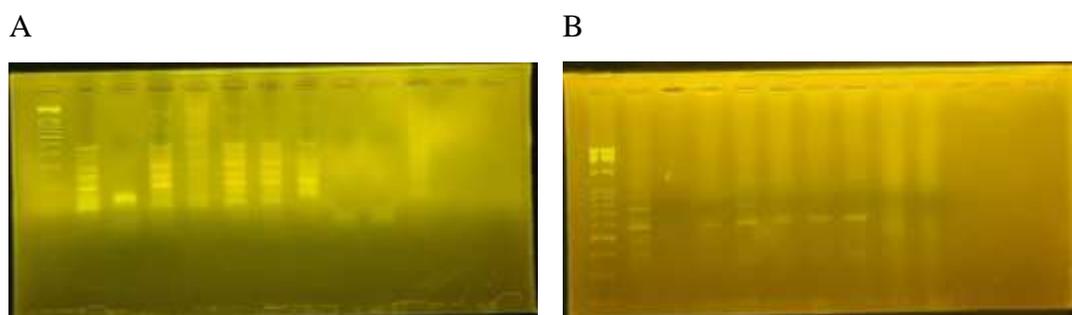
Con el material genético obtenido del tejido vegetal y de las muestras ambientales, se realizó el proceso de detección en conjunto con cebadores específicos para la detección de las especies objetivo. Las especies seleccionadas fueron *Bacopa monnieri* y *Lemna minor*.

**Tabla 6.** Cebadores específicos para especies de macrófitas seleccionadas

Especie	Cebador	Secuencia (5'-3')	Temperatura de annealing
<i>Bacopa monnieri</i>	SCAR (Forward)	BacF CATGCCTCTGGCTGCTGCTTGAC	60°C
	SCAR (Reverse)	BacR CATTGCTAGATGGGCGGACAAGAGC	
<i>Lemna minor</i>	LemnaMropt97_F (Forward)	GATTCTAATAAAAATTCATAACGAAG	47°C
	LemnaMratp152_R (Reverse)	ACTCGCACACACTCCCTTTCC	

Los cebadores SCAR para *B.monnieri* fueron diseñados en el estudio de Yadav et al. (2012), se realizaron a partir de secuencias del amplicon RAPD, a partir de su diseño, fue capaz de amplificar hasta 406 pares de bases de ADN genómico y obtuvo resultados positivos en la identificación de la especie.

Los cebadores seleccionados para la detección de *L.minor* fueron diseñados en el estudio de Senevirathna et al. (2021) con perfiles de banda únicos para esta especie y contrastados con éxito en 5 muestras de ADN de la especie de distintas áreas geográficas, amplificando no solo *L.minor*, sino también *Lemna japonica*, esto a motivo de la cercana relación morfológica entre las dos especies (Figura 7).



**Figura 7.** Amplificación por electroforesis de productos PCR en gel de agarosa

*Nota.* A) Amplificación de ADN ambiental y de tejido foliar de la especie *B.monniери*; B) Amplificación de ADN ambiental de la especie *L.minor*

La técnica de ADN ambiental dio resultados positivos, validando los productos PCR resultantes por medio de la amplificación en gel de electroforesis, obteniendo amplificaciones tanto de las muestras ambientales en distintos puntos del área de estudio para *B. monnieri* y *L. minor*, así como también del control positivo obtenido del tejido foliar de cada especie (Figura 7). Dentro de los tres puntos seleccionados se secuenció doce muestras, siete correspondientes a la especie *B. monnieri* con un porcentaje de similitud entre el 86% y 100%, y cinco correspondientes a la especie *L. minor* con un 100% de similitud (Tabla 7). Los resultados obtenidos mediante la secuenciación de las especies objetivo se encuentran registrados en la plataforma del Centro de Información para la Biotecnología (NCBI), registradas con un número de lote por cada especie (Anexo 3).

**Tabla 7.** Secuencias de las especies objetivo

Código	Género/especie	% similitud	Gen	Calidad de secuencia (%)	N° accesión
UTN_BAC_B1		100%		70.6	JQ429286.1
UTN_BAC_L1		86.67%		70.1%	MK087877.1
UTN_BAC_L2	<i>Bacopa monnieri</i>	100%	ARNr 5.8S	87.2%	JQ429286.1
UTN_BAC_C1		100%		80.1%	JQ429286.1
UTN_BAC_C2		100%		73.8%	JQ429286.1

UTN_BAC_C3		100%		70.9%	JQ429286.1
UTN_BAC_BA		100%		97.8%	JQ429286.1
UTN_PSBK_L1		100%		81.5%	LC741256.1
UTN_PSBK_L2		100%		84.7%	LC741256.1
UTN_PSBK_C1	<i>Lemna minor</i>	100%	ARNr 26S	89.2%	LC741256.1
UTN_PSBK_C2		100%		81.1%	LC741256.1
UTN_PSBK_C3		100%		86.9%	LC741256.1

El estudio realizado por Pabón (2015), utilizado como base para la presente investigación, en sus resultados abarcó la elaboración de un catálogo a nivel taxonómico de las especies vegetales en Yahuarcocha, representando una gran herramienta de conservación, sin embargo, no se contó con información a nivel molecular de la diversidad florística.

Riascos (2017) en su estudio dio un punto de partida positivo para la técnica de ADN Ambiental en Yahuarcocha por medio de la detección de *Procambarus clarkii*, impulsando la aplicación para la detección de plantas, con un protocolo de menor complejidad, como en el caso del estudio publicado por Uchii, (2015) que se encuentra enfocado en macrófitas en cuerpos lacustres y requiere mayor tiempo de trabajo y el empleo de más materiales, obteniendo resultados positivos.

Estudios previos han validado la técnica de eDNA en la detección de especies vegetales en ecosistemas acuáticos como es el caso de la investigación realizada por Uchii, (2015) dentro de la cual se expone esta técnica como un enfoque para la detección de especies invasoras por medio de la validación en una experimentación en acuarios obteniendo resultados positivos con la detección de *Cyprinus carpio* en un ambiente controlado. Doi et al., (2020) dentro de su estudio en la cual se mantiene la tendencia de la detección de especies invasoras por medio de muestras de agua, tomando como especie objetivo a *E. densa*, realizando el muestreo ya en humedales lóticos, obteniendo registros de ADN en todos los ecosistemas muestreados confirmando la capacidad de la técnica con muestras ambientales.

## 4.2. Evaluación la diversidad de las macrófitas del cuerpo lacustre y zona litoral del lago Yahuarcocha

En este apartado se muestra los resultados obtenidos a partir de la metodología aplicada para dar respuesta al segundo objetivo específico.

### 4.2.1. Índice de diversidad de Shannon-Wiener

Mediante la aplicación de este índice se pudo interpretar de forma directa la diversidad de macrófitas del lago Yahuarcocha en base a los datos obtenidos dentro de los transectos preestablecidos (Tabla 1), obteniendo un valor de  $H=2,52$ , que indica que la diversidad en el área de estudio es media. Por otro lado, Pabón (2015) obtuvo valores de 2,01 y 1,95 para este índice, lo que representaría que la diversidad ha sufrido cambios menores dentro del lago Yahuarcocha, sin embargo, dichos valores fueron tomados en diferentes épocas (seca y lluviosa) resaltando el cambio temporal de la diversidad de macrófitas.

### 4.2.2. Dominancia de macrófitas por escalas

Para estimar la abundancia de cada especie se estableció un método semicuantitativo que ayudó a interpretar la abundancia de macrófitas con base en porcentajes de presencia (Tabla 3) dentro de los transectos establecidos.

**Tabla 8.** Valores semicuantitativos de dominancia de macrófitas en el lago Yahuarcocha

Especie	Porcentaje de Cobertura (%)	Descripción
<i>Azolla caroliniana</i>	1-10%	Ocasional
<i>Eichhornia crassipes</i>	10-50%	Frecuente
<i>Lemna minor</i>	Individuos aislados	Rara
<i>Schoenoplectus californicus</i>	10-50%	Frecuente

<i>Typha latifolia</i>	1-10%	Ocasional
<i>Arundo donax</i>	1-10%	Ocasional
<i>Cyperus papyrus</i>	Individuos aislados	Rara
<i>Cyperus odoratus</i>	Individuos aislados	Rara
<i>Myriophyllum aquaticum</i>	1-10%	Ocasional
<i>Hydrocotyle verticillata</i>	1-10%	Ocasional
<i>Bacopa monnieri</i>	Individuos aislados	Rara
<i>Polygonum hydropiper</i>	1-10%	Ocasional
<i>Baccharis latifolia</i>	Individuos aislados	Rara
<i>Ricinus Communis</i>	Individuos aislados	Rara
<i>Ipomoea purpurea</i>	Individuos aislados	Rara
<i>Physalis peruviana</i>	Individuos aislados	Rara
<i>Pistia stratiotes</i>	1-10%	Ocasional

Con base en los datos obtenidos (Tabla 7), se determinó que las especies de macrófitas dominantes en el lago Yahuarcocha son *Eichhornia crassipes* y *Schoenoplectus californicus* ocupando entre el 10% y 50% del área de estudio. Por otro lado, están especies como *Ricinus comunis*, *Physalis peruviana* e *Ipomoea purpurea* que se encuentran bajo el 1% de la vegetación acuática, lo que puede ser a causa de que su hábito es mayoritariamente terrestre.

Autores como Terneus (2014) en su estudio estratificó la dominancia de macrófitas por su hábito de crecimiento, indicando a *Potamogeton pusillus* como la especie dominante de hábito sumergido, *Myriophyllum aquaticum* y *Schoenoplectus californicus* como las especies dominantes de hábito emergente. Cabe resaltar que parte de esta tendencia de dominancia se ha mantenido como el caso de *S. californicus*.

#### **4.2.3. Índice de similitud de Jaccard**

De acuerdo con los resultados obtenidos mediante el índice de similitud de Jaccard, el cual demuestra la similitud entre transectos con base en las especies presentes en cada uno de ellos, si cada transecto comparte la misma cantidad de

especies su valor de similitud se verá representado con el indicador más alto que es uno.

**Tabla 9.** Valores de similitud del índice de Jaccard

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
T1	1	0,417	0,250	0,200	0,182	0,091	0,200	0,364	0,364	0,364	0,417	0,462
T2	0,417	1	0,556	0,222	0,200	0,222	0,222	0,400	0,400	0,400	0,455	0,500
T3	0,250	0,556	1	0,286	0,250	0,286	0,286	0,500	0,333	0,333	0,273	0,231
T4	0,200	0,222	0,286	1	0,750	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,222	0,300
T5	0,182	0,200	0,250	0,750	1	0,750	0,400	0,429	0,667	0,429	0,200	0,273
T6	0,091	0,222	0,286	0,500	0,750	1	0,500	0,286	0,500	0,286	0,222	0,182
T7	0,200	0,222	0,286	0,500	0,400	0,500	1	0,286	0,286	0,286	0,222	0,182
T8	0,364	0,400	0,500	0,500	0,429	0,286	0,286	1	0,500	0,714	0,400	0,455
T9	0,364	0,400	0,333	0,500	0,667	0,500	0,286	0,500	1	0,500	0,273	0,333
T10	0,364	0,400	0,333	0,500	0,429	0,286	0,286	0,714	0,500	1	0,556	0,600
T11	0,417	0,455	0,273	0,222	0,200	0,222	0,222	0,400	0,273	0,556	1	0,500
T12	0,462	0,500	0,231	0,300	0,273	0,182	0,182	0,455	0,333	0,600	0,500	1

Los transectos que presentaron un mayor valor de similitud entre si fueron el transecto cuatro vs transecto cinco y transecto cinco vs transecto seis con un 75% de similitud entre sí. Mientras que el valor más bajo de similitud se dio entre los transectos uno y seis, con un 0.9% de similitud (Tabla 9).

Estudios preliminares de similitud del componente florístico como el de Santana et al.(2014) han expuesto que el número de especies presentes en cada transecto puede reflejar el estado en diferentes partes del área de estudio en cuanto a parámetros físicos y químicos ligados a actividades antropogénicas de los alrededores de cada subárea, lo que podría concurrir en un ensamblaje diferenciado de las comunidades.

#### 4.3.3. Ecología de las especies presentes en el lago Yahuarcocha

- ***Azolla caroliniana* Wild. 1810.-** La presencia de esta especie se encuentra ligada al nivel de eutrofización de los cuerpos de agua y la presencia del alga

*Anabaena azollae*, que favorecen su desarrollo por medio de la fijación de nitrógeno atmosférico. El crecimiento de esta especie se puede ver determinado por diversos factores como su baja tolerancia a la salinidad y la intensidad lumínica, debido a que, en los meses de mayor temperatura, la radiación limita su crecimiento. Por otro lado, la temperatura es un componente clave en la simbiosis con *Anabaena azollae*, por lo que su crecimiento se limita a temperaturas medias bajas entre los 5 a 10 °C (Agut, 2012). Se encuentra distribuida a nivel mundial a lo largo del continente americano, Asia, Australia Oceanía y como especie introducida en Europa, dentro de las regiones templadas y tropicales, generalmente presentes en lagos, lagunas, estanques y aguas estancadas temporales, entre los 1700 a 2500 m.s.n.m. (Grajales, 2014).

- ***Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms-Laub 1883.-** Es una de las especies de plantas acuáticas más invasivas a nivel mundial, que se ve limitado solamente por la salinidad del agua, restringiendo su crecimiento a sistemas de agua dulce, sin embargo, se ha reportado la presencia de al menos un individuo en zonas costeras y estuarios. Se encuentra presente dentro de los cinco principales continentes, desde el sudeste de Asia, América y África. Se lo encuentra con frecuencia en aguas tropicales y subtropicales con niveles considerables de eutrofización. Modelos recientes sobre el cambio climático revelan que su distribución podría extenderse a latitudes más altas como consecuencia del aumento de la temperatura. Su alta capacidad invasiva se atribuye a su fácil adaptación a la competencia con otras especies, formando comunidades densas por su rápida tasa reproductiva y la ausencia de consumidores (Villamagna y Murphy, 2010).
- ***Lemna minor* L.1753.-** Presenta una amplia distribución geográfica, se encuentra en Norteamérica, Sudamérica, Eurasia y Australia. Su floración es un acontecimiento poco probable, por lo que la dispersión de esta especie se da por medio de sus partes vegetativas, que se pueden transportar por medio de otras

especies como aves e inclusive roedores. Este factor de dispersión se encuentra ligado a la capacidad de la planta de tolerar la desecación de sus láminas. Es sensible a la variación de pH, encontrándose su límite de tolerancia en un rango superior al ocho, es decir, con una mínima variación entre neutro y ácido. Su crecimiento se ve limitado en épocas de verano, por el incremento en los rangos de pH, siendo su principal causa de mortalidad. Esta especie es superior a otras especies de su género en cuanto a la inhibición competitiva (Keddy, 1976).

- ***Schoenoplectus californicus* (C.A. Meyer) Soják 1972.** - Es una especie nativa de las regiones costeras del sur y oeste de Norteamérica, dispersa hasta Sudamérica. Crece en zonas inundadas, en las orillas fangosas de humedales como ríos, lagos, lagunas y estanques y su floración es constante a lo largo del año. Su presencia es dominante en estuarios. Es tolerante a aguas residuales con gran carga orgánica y el vigor de los individuos puede disminuir con el aumento de la salinidad en su medio y posee gran capacidad de bioacumulación de nutrientes a diferencia de otras especies de macrófitas emergentes (Lange et al., 1998).
- ***Typha latifolia* L.-** Pertenece a un género de especies de distribución cosmopolita, que se ha distribuido en zonas templadas y subtropicales, en gran parte de la Península Ibérica, en el norte y este. Esta especie habita en zonas húmedas de movimientos lentos de agua, comúnmente en los márgenes de lagos, estuarios, canales de irrigación, estanques, pantanos y en campos de cultivos de arroz. Es altamente tolerante a los suelos de pH ácido, alcalinos, a condiciones levemente salinas y medios ricos en nutrientes. Su crecimiento se puede ver limitado por los mecanismos de competencia interespecífica e intraespecífica por espacio con otras poblaciones, promoviendo la segregación de hábitat de otras especies (Urrutia et al., 2017).

- ***Arundo donax* L.-** Es una especie nativa del continente asiático de alto potencial invasivo, que crece en zonas ribereñas mediterráneas, subtropicales y semiáridas alrededor de todo el mundo. Actualmente se encuentra dispersa en Asia, el sur de Europa, el norte de África y Oriente medio a causa de su cultivo prolongado a lo largo del tiempo. Esta especie ya establecida, presenta alta tolerancia a la sequía y altos niveles de salinidad. Su forma habitual de colonización parte de la fragmentación y transporte de sus rizomas por medio de corrientes hídricas. Su presencia puede alterar la estructura vegetativa autóctona del ecosistema que coloniza, también reduce la dominancia de especies de artrópodos y aves. Es una especie altamente competitiva por su rápido crecimiento y fácil adaptabilidad (Lambert et al., 2017).
- ***Cyperus papyrus* L.-** Esta especie es originaria de la cuenca del mar mediterráneo, con un auge de crecimiento en el Nilo. Puede crecer en sistemas lenticos y loticos ricos en nutrientes como tierras pantanosas y zonas inundadas. La presencia de esta especie está ligada a la presencia de una corriente de agua que mantenga sumergido parte de sus rizomas. Posee tolerancia a un rango amplio de pH entre cuatro a ocho, y una baja tolerancia a la salinidad, también es sensible a la alteración de los factores bióticos como la presencia de otras especies que representen competencia y el cambio en el régimen hidrológico, estos factores pueden representar la desaparición de esta especie en un ecosistema (Serag, 2003).
- ***Cyperus odoratus* L. (1753).** - Es una especie de distribución cosmopolita hasta los 2250 m.s.n.m, en regiones tropicales y templadas, crecen sobre distintos tipos de sustrato, generalmente en espacios cenagosos en los cuales el suelo está saturado de agua o en los alrededores de cuerpos de agua. Pueden ser consideradas invasoras dentro de los cultivos debido a su fácil adaptación en áreas intervenidas y las prácticas de control de malezas dentro de las mismas. Su dispersión se da por medio de tubérculos y semillas (Fedón, 2012).

- ***Myriophyllum aquaticum* (Velloso) Verdcourt. 1973.-** Especie originaria del continente sudamericano, en el río Amazonas se encuentra dispersa en Europa, Norteamérica y Sudáfrica, por su potencial comercial en acuarios. Llega a crecer en corrientes de agua dulce como arroyos, lagos, ríos, canales y estanques con niveles considerables de nutrientes. Tiene potencial de dispersión constante mediante reproducción asexual por propágulos que pueden dispersarse por varios meses dentro de varios kilómetros en sus periodos de dispersión clonal. Su presencia puede implicar la competencia y desplazamiento de especies acuáticas nativas, así como también la disminución de la calidad del agua en su ecosistema (Xiong et al., 2021).
- ***Hydrocotyle verticillata* Thunb. 1978.-** Originaria de las regiones templadas y tropicales de América del Norte, América del Sur y las Antillas hasta los 1600 m.s.n.m, es una especie común de lugares húmedos y baldíos, se puede encontrar en suelos húmedos y sombríos, desde humedales como lagos eutróficos, hasta desagües de alcantarillado (Khatun, et al., 2010). Son de rápida descomposición debido a su baja relación carbono-nitrógeno. Tiene el potencial de ser una especie fitorremediadora en el tratamiento de aguas residuales y aguas eutróficas. Se adapta a temperaturas que varían entre los 10 °C a 25 °C con un pH entre cinco a siete (Lim et al., 2014).
- ***Bacopa monnieri* L. Werrst. 1891.-** Especie originaria de América del Norte y distribuida a lo largo del continente americano y las Antillas, es común de zonas húmedas como corrientes de agua, orillas de lagos y estanques, crece hasta los 1620 m.s.n.m, en sustratos arenosos, se dispersa por propagación vegetativa del tallo debido a que no es capaz de producir semillas. Tiene gran potencial en el campo medicinal y es capaz de tolerar y bioacumular metales pesados (Pierce et al., 2009).

- ***Polygonum hydropiper* (L.) Delarbre 1800.-** Esta especie es originaria de América del Norte, restringida en sitios de mucha luminosidad y es adaptable a medios altamente orgánicos en espacios húmedos o inundados. Tolera el alto contenido de nitrato y calcio y su rango de pH es cercano a 6. En espacios naturales no se la considera como maleza, sin embargo, en cultivos si se considera como una maleza (Sultan et al., 1998).
- ***Baccharis latifolia* (Ruiz y Pav.) Pers. 1807.-** Está distribuida en Sudamérica, en la zona tropical andina desde Venezuela hasta Argentina en un rango altitudinal entre los 1600 a 3800 m.s.n.m. Es una especie con gran potencial de colonización de áreas disturbadas. Se adapta a temperaturas medias entre los 7 a 19 °C y presenta gran tolerancia a suelos de bajo contenido de nutrientes y carentes de humedad. Tiene alto potencial en el tratamiento de enfermedades y dolencias físicas (Prada et al., 2016).
- ***Ricinus communis* L. 1753.-** Especie originaria de África, se encuentra ampliamente distribuida en los trópicos en ambos hemisferios. Se extiende de forma natural en zonas baldías y vertederos. También se encuentra cultivada para la extracción de ricina en aplicaciones industriales o incluso con usos ornamentales. Sus semillas son altamente tóxicas para el ser humano, pudiendo afectar varios órganos hasta causar la muerte (Bauddh et al., 2015).
- ***Ipomoea purpurea* (L.) Roth 1787.-** Esta especie es originaria y se distribuye en Norteamérica, desde México hasta el centro de Estados Unidos, Sudamérica, Asia, África y Oceanía, hospedándose en vayas o troncos de otras especies, comúnmente en árboles del género Pinus y propagándose por semillas. Se la puede encontrar en un rango altitudinal entre los 850 a los 2500 m.s.n.m. (Knieskern y Rausher, 2006).

- ***Physalis peruviana* L. 1763.-** Es una especie común de climas fríos y templados con un rango altitudinal entre los 1800 a 2800 m.s.n.m y una temperatura promedio anual entre los 13 °C los 16 °C. En temperaturas superiores se ve afectado el proceso de floración, y en temperaturas menores o heladas afectan al crecimiento de nuevas plántulas. Pueden tolerar inundaciones o encharcamientos de sus raíces, con reportes de tiempo límite de hasta cuatro días. Mientras que en épocas secas se disminuye el crecimiento de la planta y la producción de sus frutos. Crece en suelos arenosos o arcillosos que cuenten con minerales esenciales para su crecimiento como nitrógeno, potasio y boro (Fischer y Melgarejo, 2014).
- ***Pistia stratiotes* L. 1753.-** Es una especie de planta acuática flotante que es considerada como una maleza que crece en zonas tropicales y subtropicales alrededor de todo el mundo. Es común de cursos de agua, lagos y estanques, formando comunidades densas en su superficie, que pueden ser un obstáculo en los cursos de agua y a su vez proporcionar hábitat para especies de mosquitos que pueden ser vectores de enfermedades. Se desarrolla bajo condiciones de pH 4 a 6,5. La germinación de sus semillas no se realiza con la planta sumergida, por lo que se realiza cuando la planta se encuentra confinada en las orillas del cuerpo de agua (Pieterse et al., 1981).

#### **4.3. Análisis el cambio temporal de las macrófitas del cuerpo lacustre y zona litoral del lago Yahuarcocha**

En este apartado se muestra los resultados obtenidos a partir de la metodología aplicada para dar respuesta al tercer objetivo específico.

### 4.3.1. Comparación de la diversidad de macrófitas del lago Yahuarcocha con registros previos

Para la comparación de la diversidad de macrófitas se realizó el levantamiento de información en campo por medio de cuadrantes y transectos, metodología aplicada en el segundo objetivo específico, con el fin de cubrir la diversidad que abarca la zona litoral y zona limnética. En conjunto se tomó en cuenta el listado presentado en el estudio de Pabón (2015) (Tabla 8), para la identificación de las especies presentes en el área de estudio (Tabla 9).

**Tabla 10.** Lista de especies identificadas para el año 2015

N°	Familia	Epíteto Genérico	Epíteto Especifico
1	Azollaceae	Azolla	<i>Azolla caroliniana</i> Wild. 1810
2	Pontederiaceae	Eichhornia	<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms-Laub 1883
3	Lemnaceae	Lemna	<i>Lemna minor</i> Linnaeus Griff. 1851
4	Cyperaceae	Schoenoplectus	<i>Schoenoplectus californicus</i> (C.A. Meyer) Soják 1972
5	Thyphaceae	Typha	<i>Typha latifolia</i> L.
6	Poaceae	Arundo	<i>Arundo donax</i> L.
7	Cyperaceae	Cyperus	<i>Cyperus papyrus</i> L.
8	Cyperaceae	Cyperus	<i>Cyperus odoratus</i> L. (1753)
9	Haloagaceae	Myriophyllum	<i>Myriophyllum aquaticum</i> (Velloso) Verdcourt. 1973
10	Araliaceae	Hydrocotyle	<i>Hydrocotyle verticillata</i> Thunb. 1798
11	Plantaginaceae	Bacopa	<i>Bacopa monnieri</i> L. Werrst. 1891
12	Polygonaceae	Polygonum	<i>Polygonum hydropiper</i> (L.) Delarbre 1800
13	Polygonaceae	Rumex	<i>Rumex conglomeratus</i> Murray. 1770
14	Calceolariaceae	Calceolaria	<i>Calceolaria tripartita</i> Ruz & Pav. 1798
15	Juncaceae	Juncus	<i>Juncus arcticus</i> Willdenow. 1799

16	Potamogetonaceae	Potamogeton	<i>Potamogeton pectinatus</i> var. <i>Striatus</i> Ruiz & Pav. 1997
17	Hydrocharitaceae	Egeria	<i>Egeria densa</i> Planch. 1849

En el año 2015 la vegetación acuática estaba conformada en su mayoría por especies de la clase Liliopsida, seguido por la clase Magnoliopsida y minoritariamente representada la clase Pteridopsida. La diversidad de macrófitas engloba especies de plantas de hábito emergente en su mayoría representando el 64.71% del total de especies, seguido por las especies de hábito flotante con el 23.53% y sumergido con el 11.76%.

**Tabla 11.** Lista de especies identificadas para el año 2022

N°	Familia	Epíteto Genérico	Epíteto Especifico
1	Azollaceae	Azolla	<i>Azolla caroliniana</i> Wild. 1810
2	Pontederiaceae	Eichhornia	<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms-Laub 1883
3	Lemnaceae	Lemna	<i>Lemna minor</i> L. 1753
4	Cyperaceae	Schoenoplectus	<i>Schoenoplectus californicus</i> (C.A. Meyer) Soják 1972
5	Thyphaceae	Typha	<i>Typha latifolia</i> L.
6	Poaceae	Arundo	<i>Arundo donax</i> L.
7	Cyperaceae	Cyperus	<i>Cyperus papyrus</i> L.
8	Cyperaceae	Cyperus	<i>Cyperus odoratus</i> L. (1753)
9	Haloragaceae	Myriophyllum	<i>Myriophyllum aquaticum</i> (Velloso) Verdcourt. 1973
10	Araliaceae	Hydrocotyle	<i>Hydrocotyle verticillata</i> Thunb. 1798
11	Plantaginaceae	Bacopa	<i>Bacopa monnieri</i> L. Werrst. 1891
12	Polygonaceae	Polygonum	<i>Polygonum hydropiper</i> (L.) Delarbre 1800
13	Asteraceae	Baccharis	<i>Baccharis latifolia</i> (Ruiz & Pav.) Pers. 1807
14	Euphorbiaceae	Ricinus	<i>Ricinus Communis</i> L. 1753
15	Convolvulaceae	Ipomoea	<i>Ipomoea purpurea</i> (L.) Roth 1787

16	Solanaceae	Physalis	<i>Physalis peruviana</i> L. 1763
17	Araceae	Pistia	<i>Pistia stratiotes</i> L.1753

Dentro del presente estudio se registró un total de 17 especies de macrófitas (Tabla 9) conformada mayoritariamente por especies de la clase Liliopsida y Magnoliopsida, dispersas dentro de la zona litoral y la zona limnética del lago Yahuarcocha. Existe un cambio dentro de la diversidad de macrófitas dentro del periodo 2015-2022 (Tabla 9), con una diferencia de 10 especies, englobando la pérdida de 5 especies (*R. conglomeratus*, *C. tripartita*, *J. arcticus*, *P. pectinatus* var. *Striatus* y *E. densa*) y la aparición de 5 especies (*B. latifolia*, *R. communis*, *I. purpurea*, *P. peruviana* y *P. stratiotes*). La diversidad de macrófitas para el año 2022 engloba especies de plantas de habito emergente en su mayoría representando el 76.47 % del total de especies, seguido por las especies de hábito flotante con el 23.53%.

**Tabla 12.** Especies que cambiaron en el periodo 2015-2022

Pabón, 2015	Fierro, 2022
Nombre Especifico	Nombre Especifico
<i>Rumex conglomeratus</i> Murray. 1770	<i>Baccharis latifolia</i> (Ruiz & Pav.) Pers. 1807
<i>Calceolaria tripartita</i> Ruz & Pav. 1798	<i>Ricinus Communis</i> L. 1753
<i>Juncus arcticus</i> Willdenow. 1799	<i>Ipomoea purpurea</i> (L.) Roth 1787
<i>Potamogeton pectinatus</i> var. <i>Striatus</i> Ruiz & Pav. 1997	<i>Physalis peruviana</i> L. 1763
<i>Egeria densa</i> Planch. 1849	<i>Pistia stratiotes</i> L.1753

En esta tabla se encuentran las especies que han desaparecido desde su registro en 2015 y las especies que han aparecido en la actualidad

Es importante resaltar que en la pérdida de algunas especies se encuentra la diversidad de macrófitas de hábito sumergido (*P. pectinatus* var. *Striatus* y *E. densa*). En el caso de *E. densa* su presencia se limita a su adición en esteras flotantes dentro

del proyecto de remediación ambiental de Yahuarcocha a cargo del Gobierno Autónomo Descentralizado de Ibarra, debido a su ausencia de forma natural dentro del cuerpo de agua.

Los cambios en la vegetación acuática dentro de Yahuarcocha no es un suceso reciente, ya que otros estudios realizados con base en el levantamiento de información en cuanto a la diversidad de macrófitas, como la caracterización de la vegetación y estado trófico de las lagunas de San Pablo y Yahuarcocha (Terneus, 2014), el cual enlista un total de nueve especies para Yahuarcocha, representando un cambio relevante en comparación con datos recientes.

Los cambios constantes dentro del lago Yahuarcocha pueden ser consecuencia de un proceso de sucesión natural o ecológica el cual Atilio, (2020) menciona que es un proceso de cambios en la composición de un ecosistema y sus especies a través del tiempo, hasta llegar a un equilibrio dinámico mediante el reemplazo gradual de sus comunidades bióticas, el cual puede estar asociado a una tendencia progresiva por la naturaleza de las etapas de este proceso con ciertas características de irreversibilidad. Estos cambios pueden darse como efecto resultante de la remoción parcial o total de la vegetación o por disturbios de origen natural o antrópica.

#### ***4.3.2. Comparación de la cobertura de macrófitas por medio de ortofotos***

Con la aplicación de ortofotos y su posterior tratamiento se logró realizar el análisis fotométrico del comportamiento la cobertura de vegetación macrófita presente en el lago Yahuarcocha.



**Figura 8.** Ortofoto correspondiente al año 2011

*Nota.* Visualización de la cobertura de macrófitas en el año 2011 a partir de una ortofoto

Con el tratamiento de la ortofoto correspondiente al año 2011 se puede observar la presencia moderada de macrófitas, con mayor presencia en las zonas con más interacción de actividades antrópicas con respecto al medio, las cuales llegan a tener incidencia en el crecimiento de ciertas especies de vegetación acuática.



**Figura 9.** Ortofotografía correspondiente al año 2020

*Nota.* Visualización de la cobertura de macrofitas en el año 2020 a partir de una ortofotografía

En cuanto al tratamiento de la ortofotografía correspondiente al año 2020, se puede observar el aumento en la presencia de macrofitas, con la ocupación de alrededor del 90% de la zona litoral del lago Yahuarcocha. El crecimiento de la cobertura de macrofitas puede ser proporcional al crecimiento de las actividades consecuentes del incremento poblacional y turístico.

**Tabla 13.** Comparación del área de cobertura de las macrofitas

Año	Área Total (ha)	Área Macrofitas (ha)
2011	2,530	3,38896
2020	2,530	10,0781

Tal como la variación en la diversidad de macrófitas a través de los años, su área de cobertura también ha sufrido cambios representativos, se consideró el año 2011 (Figura 8) como punto inicial con 3,39 hectáreas de cobertura vegetal, correspondiente al 0,13% del área total del lago, los cambios dentro de los parámetros físico-químicos pueden ser un detonante para el aumento a 10,09 hectáreas de cobertura vegetal para el año 2020, correspondiente al 0,40% del área total del lago (Figura 9).

El estudio realizado por Kiersch y Mühleck (2004) menciona que la presencia de las macrófitas en los lagos depende de sus condiciones físico-químicas, como la presencia y calidad de sedimentos, la claridad del espejo de agua, las corrientes de agua y los predadores. El alterar cualquiera de estas condiciones puede desencadenar en la pérdida de macrófitas como también el crecimiento desmesurado de las mismas.

#### ***4.3.3. Guía de macrófitas del lago Yahuarcocha***

La guía florística de la diversidad de macrófitas presentes en el lago Yahuarcocha se realizó mediante salidas de campo y recolección de información bibliográfica y fotográfica en el transcurso del actual estudio.

**4.3.3.1. Forma de uso de la guía.** - El presente material se realizó con el objetivo de mostrar la diversidad florística del lago Yahuarcocha enfocado en el fácil entendimiento para el público sin la necesidad de conocimientos taxonómicos previos. La información contempla el uso combinado de material bibliográfico como fotográfico con el fin de ofrecer al espectador una herramienta de aprendizaje adaptada a las necesidades de la comunidad en general. De forma textual, cada ficha incluye los siguientes campos:

- **Nombre científico:** El nombre correcto de la especie con base en bibliografía que lo referencie.
- **Género:** El género del que forma parte la especie.
- **Familia:** La familia botánica de la cual forma parte la especie.
- **Clase:** La clase botánica de la cual forma parte la especie.

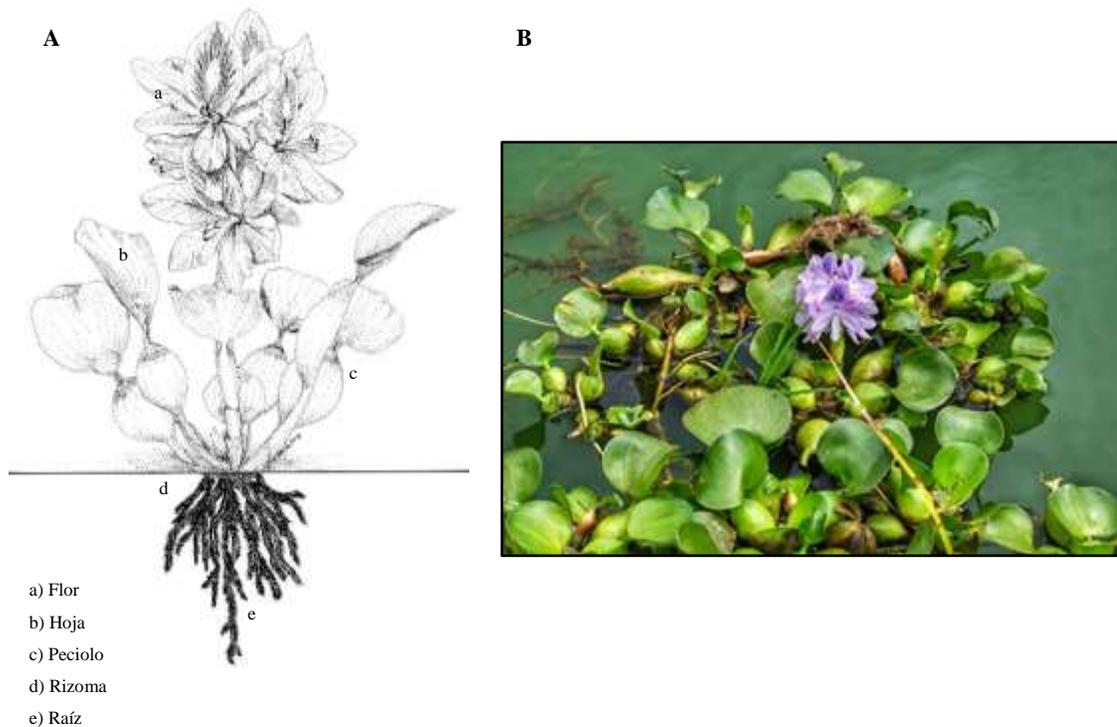
- **Nombre común:** Los nombres que se les asigna a la especie de forma informal.
- **Texto principal:** Menciona las características a nivel ecológico de la especie, con una descripción clara, así como los ecosistemas en los que se desarrollan.
- **Caracteres diagnósticos:** Descripción a nivel morfológico de la especie (Hojas, flor y fruto).
- **Origen distribución:** de la especie a nivel mundial y sitio de origen de esta.
- **Estado de conservación:** Grado de amenaza de la especie según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.
- **Interés:** Información acerca de los posibles usos de la especie.

**4.3.3.2. Simbología de la guía.** - Con el fin de realizar una guía interactiva y de fácil percepción para la colectividad, se integró varios tipos de simbología representativa en función a las distintas características propias de cada especie a tratar (Tabla 14).

**Tabla 14.** Simbología referencial para la guía

<b>Tipo biológico</b>	Plantas flotantes	
	Plantas sumergidas	
	Plantas emergentes	
<b>Carácter indicador</b>	Si es de carácter indicador	
	No es de carácter indicador	
<b>Especie exótica</b>	Es especie exótica	

**4.3.3.4. Imágenes de la planta.** - La adición de imágenes de las especies facilitarán el reconocimiento de la vegetación macrófita presente en el área de estudio, adicionalmente la incorporación de las características a nivel morfológico permitirá el reconocimiento de las partes de cada planta y la diferenciación entre ellas (Figura 10).



**Figura 10.** Disposición de imágenes para la guía de macrófitas

*Nota.* A) Imagen de referencia morfológica de *Eicchornia crassipes* Adaptado de *Modelagem Ecológica em ecossistemas aquáticos*, por Fragoso et al. (2009), Câmara Brasileira do Livro B) Fotografía de *Eicchornia crassipes* captada desde el área de estudio

Es importante la adición clara de claves para la visualización y reconocimiento de la fisiología de la planta, en el caso de la presente guía se realizó utilizando letras (Figura 10A), las cuales estarán ubicadas en cada estructura de la planta con un apéndice adjunto con el nombre de cada parte señalada con la letra.



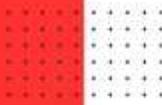
**GUÍA DE MACRÓFITAS  
DEL LAGO  
YAHUARCOCHA**

Stalin Fierro



Ingeniería en Recursos  
Naturales Renovables





# ÍNDICE

Macrófitas	2
Clasificación de las macrófitas	3
Área de estudio - Yahuarcocha	4
Como usar la guía	5
Simbología de la guía	5
Mácrofitas del lago Yahuarcocha	7
Bibliografía	42



# MACRÓFITAS

---

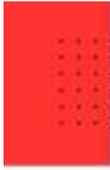
El término "Macrófitos acuáticos" o "Macrófitas" hace referencia a las plantas que se pueden diferenciar a simple vista y que al menos sus partes vegetativas estén desarrollándose de forma periódica o permanente en cualquier tipo de hábitats acuáticos, esto apoyado en propiedades del agua como su mayor densidad y su viscosidad en comparación con el aire.



Las macrófitas son especies vegetales macroscópicas propias de ecosistemas acuáticos como plantas vasculares, carófitos, briofitos y algas. Tienen la capacidad de colonizar diferentes tipos de ecosistemas acuáticos como lagos, embalses, arroyos, ríos y hasta cascadas, generalmente de poca profundidad. Su presencia es regulada por factores como el periodo de inundación, turbidez del agua, la concentración de nutrientes y la intensidad de la radiación (Thomaz et al., 2008; Gallego, 2015).

La vegetación macrófita es un componente clave dentro de los ecosistemas acuáticos, debido a su función como productores primarios, son la base de la cadena alimenticia de los herbívoros y de especies detritívoras, que a la vez conforman la dieta de invertebrados, peces y aves acuáticas (Rejmánková, 2011).





## Clasificación de las macrófitas

A lo largo del tiempo se ha caracterizado a las macrófitas con base en una variedad de criterios. Varios autores han concordado en una misma clasificación. Hutchinson (1975), Merrill y Carole (1985) se enfocaron esencialmente en aspectos de relación con el nivel del agua, el sustrato y el tipo de crecimiento (Figura 1). Actualmente las clasificaciones más aceptadas, mencionadas en el estudio de Rejmánková (2011) corresponden a las categorías de:

**Macrófitas flotantes.** - Son las que tienen gran parte del tallo y hojas en el agua o por la superficie de la misma, por lo que estas carecen de un sistema de fijación hacia el sustrato. Su morfología es muy reducida, sus órganos reproductores pueden ser aéreos o flotantes, acorde a la especie, al no estar fijadas en un sustrato, su alimentación se basa en la absorción de nutrientes en el agua.

**Macrófitas de hojas flotantes.** - Poseen peciolo largos, sus hojas están adaptadas al estrés mecánico del medio, gran parte de su tejido foliar se encuentra apoyado en la superficie del agua, sus órganos reproductores son flotantes o aéreos.

**Macrófitas emergentes.** - Son aquellas que comúnmente permanecen en la parte superior del agua en la zona litoral, entre el 1 m a los 5 m de profundidad. Sus raíces y rizomas se encuentran adaptados a sedimentos anaerobios y tiene órganos reproductores aéreos. Se categorizan en erguidas y rastreras.

**Macrófitas sumergidas.** - Son aquellas que tienen la mayoría de su tejido sumergido bajo la superficie del agua, se encuentran adheridas al sustrato. Son de morfología alargada, hojas disecadas flotantes. Se encuentran a profundidades de hasta 10 m en la zona fótica, por lo que están más adaptadas al medio acuático.

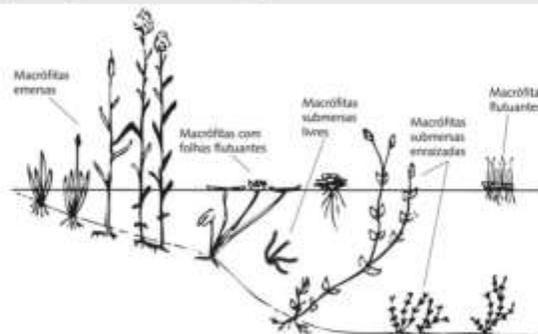


Figura 1. Clasificación de las macrófitas



# YAHUARCOCHA

Yahuarcocha, es un lago de origen glaciar ubicado en la provincia de Imbabura, en el cantón Ibarra a 3 Km de la ciudad de San Miguel de Ibarra (Figura 2); en la parroquia de La Dolorosa del Priorato, a una altura de 2200 m s. n. m (Ministerio de Ambiente, 2015). Se encuentra ubicado en las elevaciones de la cordillera de los Andes, cuyas coordenadas son 00°22'32,2"(N) y 078°06'6,5" (Portilla, 2015).

Su cuenca de drenaje ocupa 2 530 ha, con una profundidad de 7 m, posee tres entradas principales; las Quebradas de Manzanahuayco-Santo Domingo, Polo Golo y San Antonio, de las cuales se alimenta de forma natural por el escurrimiento resultante de las precipitaciones, sin tomar en cuenta las acequias del río Tahuando que la alimentan de forma artificial. (Maridueña et al., 2011)



Figura 2. Área de estudio

El clima es ecuatorial mesotérmico semihúmedo con precipitaciones que varían entre los 500 mm a 750 mm. La temperatura media anual varía con respecto a la altitud desde los 5 °C en la zona alta, alcanzando hasta los 25 °C en la zona baja. Su principal cuenca de recepción se encuentra entre los 3000 y los 3780 msnm, comprendiendo las zonas de vida de bosque húmedo Montano y la transición de bosque húmedo Montano y bosque muy húmedo Montano. No cuenta con crecidas recurrentes por su relieve accidentado y muy fuerte, lo que le da su forma característica oval-oblonga (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra, 2015).





# COMO USAR LA GUÍA

---

La guía florística de la diversidad de macrófitas presentes en el lago Yahuarcocha se realizó mediante salidas de campo y recolección de información bibliográfica y fotográfica en el transcurso del actual estudio.

**Forma de Uso de la Guía.** - El presente material se realizó con el objetivo de mostrar la diversidad florística del lago Yahuarcocha enfocado en el fácil entendimiento para el público sin la necesidad de conocimientos taxonómicos previos. La información contempla el uso combinado de material bibliográfico como fotográfico con el fin de ofrecer al espectador una herramienta de aprendizaje adaptada a las necesidades de la comunidad en general. De forma textual, cada ficha incluye los siguientes campos:

**Nombre científico:** El nombre correcto de la especie con base en bibliografía que lo referencia.

**Género:** El género del que forma parte la especie.

**Familia:** La familia botánica de la cual forma parte la especie.

**Clase:** La clase botánica de la cual forma parte la especie.

**Nombre común:** Los nombres que se le asigna a la especie de forma informal

**Texto principal:** Hace mención de las características a nivel ecológico de la especie, con una descripción clara, así como los ecosistemas en los que se desarrollan.

**Caracteres diagnósticos:** Descripción a nivel morfológico de la especie (hojas, flor y fruto).

**Origen distribución:** A nivel mundial y sitio de origen de la misma.

**Estado de conservación:** Grado de amenaza de la especie según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.

**Interés:** Información acerca de los posibles usos de la especie.

## Simbología de la guía

Con el fin de realizar una guía interactiva y de fácil percepción para la colectividad, se integró varios tipos de simbología representativa en función a las distintas características propias de cada especie a tratar (Tabla 1).

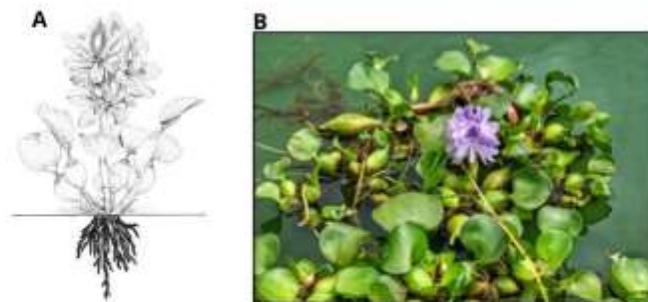


**Tabla 1.** Simbología referencial para la guía

<b>Tipo biológico</b>	Plantas flotantes Plantas sumergidas Plantas emergentes	
<b>Carácter indicador</b>	Si es de carácter indicador No es de carácter indicador	
<b>Especie exótica</b>	Es especie exótica	

## Imágenes de la planta

La adición de imágenes de las especies facilita el reconocimiento de la vegetación macrófita presente en el área de estudio, adicionalmente la incorporación de las características a nivel morfológico permite el reconocimiento de las partes de cada planta y la diferenciación entre ellas (Figura 3).



**Figura 3.** Disposición de imágenes para la guía de macrófitas

Nota. A) Imagen de referencia morfológica de *Eicchornia crassipes* Adaptado de Modelagem Ecológica em ecossistemas aquáticos, por Fragoso et al. (2009), Câmara Brasileira do Livro B) Fotografía de *Eicchornia crassipes* captada desde el área de estudio



# MACRÓFITAS DEL LAGO YAHUARCOCHA



## Lemna minor

Saxifragales - Haloragaceae

### Ecología

Se dispersa por medio de sus partes vegetativas ligadas a la capacidad de la planta de tolerar la desecación de sus láminas, que se pueden transportar por medio de especies como aves e inclusive roedores. Es sensible a la variación de pH, con un límite de tolerancia superior a ocho, con una mínima variación entre neutro y ácido. Su crecimiento se ve limitado en épocas de verano, por el incremento en los rangos de pH, siendo su principal causa de mortalidad. Esta especie es superior a otras especies de su género en cuanto a la inhibición competitiva.

### Características

Planta de 0.8 a 10 mm, con cuerpo totalmente reducido debido a adaptaciones al medio acuático, con aspecto es similar mayormente al de un alga que al de una planta vascular. Su forma de reproducción es la multiplicación vegetativa, consecuencia de la reducción de las estructuras reproductivas.

### Hábitat y Distribución

Presente aguas permanentes como pozos, canales, lagos y aguas tranquilas poco dulces o poco salinas. Nativa de Norteamérica. Altura entre 50 – 3400 m.s.n.m. Presenta una amplia distribución geográfica, se encuentra en Norteamérica, Sudamérica, Eurasia y Australia.

### Interés

**Alimento:** Alcanza niveles de proteína de hasta un 38% de su biomasa, de forma que se puede utilizar como alimento para animales de granja como cerdos, ganado y diferentes especies de aves.

**Fitorremediación:** Es capaz de remover ortofosfato y acumular Cadmio, Cobre y Selenio, en complemento con su cosecha frecuente.

### Estado de conservación

**UICN Lista Roja Ecuador:** No incluida

**UICN Lista Roja Internacional:** Preocupación menor

### Bibliografía

- Keddy, P. (1976). Lakes as Islands: The Distributional Ecology of Two Aquatic Plants, Lemna Minor L. and L. Trisulca L. ESA Ecology, 353-359. doi:<https://doi.org/10.2307/1934824>
- Arroyave, M. (2004). La lenteja de agua (Lemna minor L.): Una planta acuática promisoría. EIA, 24-30. Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=51794-12372004000100004#:text=Lemna%20minor%20se%20ha%20ensayado,de%20alimentaci%C3%B3n%20\(Bu%20et%20a](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=51794-12372004000100004#:text=Lemna%20minor%20se%20ha%20ensayado,de%20alimentaci%C3%B3n%20(Bu%20et%20a)



### LENTEJA DE AGUA



## MORFOLOGÍA

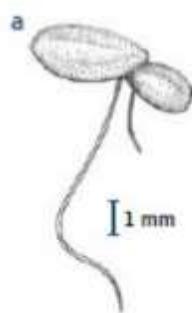
**Hojas:** Está formada por un parénquima fotosintético y un parénquima aerífero que le permite flotar. En la cara inferior, surgen varias raicillas. Este conjunto de estructuras son solitarios en formaciones de 2 o 3 resultantes de la multiplicación vegetativa.

**Flores:** Inflorescencias unisexuales compuestas por una flor femenina y dos masculinas que no presentan periantio, ubicadas en una pequeña concavidad del cuerpo lenticular. Las flores femeninas se encuentran reducidas a un ovario unilocular, y las masculinas a un estambre.

**Fruto:** Utrículos globosos alados de hasta 0.2 mm, con 2 semillas.



- a) Aspecto general
- b) Formación en el agua
- c) Fruto



## Azolla caroliniana

Saxifragales - Haloragaceae

### Ecología

El crecimiento de esta especie se puede ver determinado por diversos factores como su baja tolerancia a la salinidad y la intensidad lumínica, debido a que, en los meses de mayor temperatura, la radiación limita su crecimiento. Por otro lado, la temperatura es un componente clave en la simbiosis con *Anabaena azollae*, por lo que su crecimiento se limita a temperaturas medias bajas entre los 5 a 10 °C.

### Características

La presencia esta ligada al nivel de eutrofización de los cuerpos de agua y la presencia del alga *Anabaena azollae*, que favorecen su desarrollo por medio de la fijación de nitrógeno atmosférico. Es de fácil dispersión, propagándose por medio de sus partes vegetativas.

### Hábitat y Distribución

Presente en zonas pantanosas y húmedas tales como cursos fluviales, lagunas, embalses e inclusive en acequias y arrozales. Nativa de América tropical y distribuida naturalmente desde Estados Unidos hasta Argentina, actualmente se distribuye en el continente americano, Asia tropical, Europa, Sudáfrica y Australia. Altura entre 1700 - 2200 m.s.n.m,

### Estado de conservación

**UICN Lista Roja Ecuador:** No incluida  
**UICN Lista Roja Internacional:** No incluida

### Bibliografía

- Las Cañadas. (2021). Fichas técnicas: Plantas para sistemas agroecológicos. Bogota: Las Cañadas Centro de Agroecología y Permacultura. Obtenido de <https://bosquederiebla.com.mx/wp-content/uploads/2021/06/azolla-ficha-tecnica-bosquederiebla-2.pdf>
- Méndez, Y., Pérez, Y., Reyes, J., & Puente, V. (2017). Azolla sp., Un alimento de alto valor nutricional para la acuicultura. *Biocénica*, 32-40.
- Rivera, L., Vargas, O., Curi, M., & Rodríguez, I. (2017). Comportamiento de la azolla (*Azolla* spp.) bajo diferentes condiciones ambientales y de manejo. *Cumbres*, 09-16. Obtenido de <http://investigacion.uzamachala.edu.ec/revistas/index.php/Cumbres>



### HELECHO DE AGUA



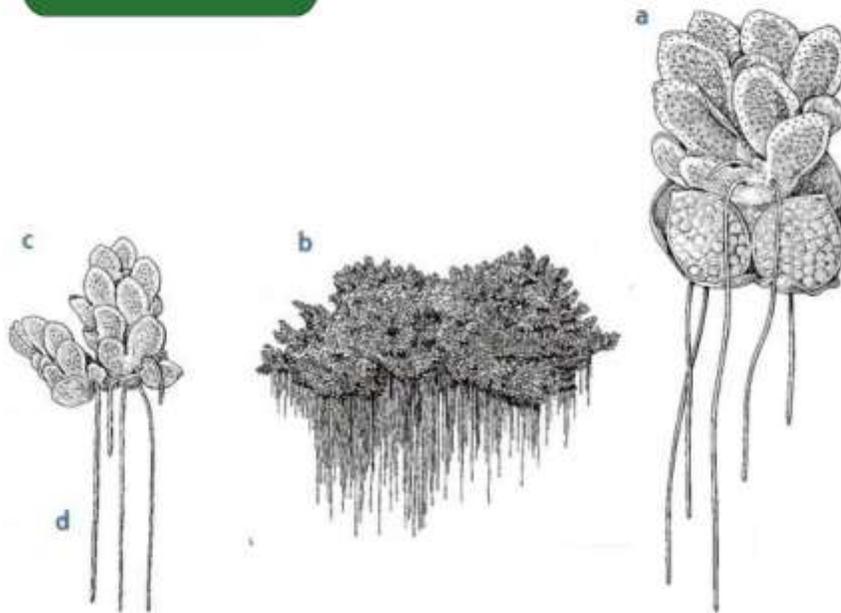
## MORFOLOGÍA

**Tallo:** Corto, profusamente ramificado por sus raíces, recubiertos por sus hojas.

**Hojas:** Pequeñas de hasta 4 mm, basales biobuladas, alternas con un lóbulo central y uno dorsolateral que favorecen su simbiosis con otras especies.



- a) Aspecto general
- b) Formación en el agua
- c) Hojas
- d) Raíz



## *Eichhornia crassipes*

Commelinales - Pontederiaceae

### Ecología

Es una de las especies acuáticas más invasivas del mundo por su fácil adaptación a la competencia con otras especies, formando comunidades densas por su rápida tasa reproductiva y la ausencia de consumidores, limitada solamente por la salinidad del agua, restringiendo su crecimiento a sistemas de agua dulce, sin embargo, se ha reportado la presencia de al menos un individuo en zonas costeras y estuarios. Se encuentra en aguas eutróficas. Modelos recientes sobre el cambio climático revelan que su distribución podría extenderse a latitudes más altas a efecto del aumento de la temperatura.

### Características

Planta de gran potencial ornamental e invasivo. Sus características fisiológicas y reproductivas la vuelven capaz de alterar de forma negativa los ecosistemas que llega a colonizar, afectando los procesos ecológicos del ecosistema y produciendo pérdidas a nivel social relacionado a actividades humanas. Se encuentra catalogada entre las 100 especies más nocivas a nivel mundial.

### Hábitat y Distribución

Presente en aguas tropicales y subtropicales tranquilas y eutróficas, también en jardines debido a su potencial ornamental. Nativa de América del Sur, originaria de la cuenca del Amazonas. Altura entre los 1750 - 2250 m.s.n.m. Se encuentra distribuida dentro de los cinco principales continentes, desde Europa hasta el sudeste de Asia, América y África.

### Interés

**Abono:** Por la cantidad de biomasa que genera se la puede utilizar como abono, fertilizante y forraje.

**Alimento:** Se la utiliza como fuente de alimento para el pez carpa.

**Fitorremediación:** Es capaz de depurar aguas residuales.

También tiene aplicaciones en la fabricación de biogás.



LECHUGUIN O JACINTO  
DE AGUA



### Estado de conservación

UICN Lista Roja Ecuador: No incluida

UICN Lista Roja Internacional: No incluida

### Bibliografía

- García, P., Fernández, R., & Clujano, S. (2010). Habitantes del agua, Macrófitos. Andalucía: Agencia Andaluza del Agua. Obtenido de [http://www.jolube.es/pdf/libro\\_macrofitos\\_andalucia\\_2010.pdf](http://www.jolube.es/pdf/libro_macrofitos_andalucia_2010.pdf)
- Villamagna, M., & Murphy, B. (2010). Ecological and socio-economic impacts of invasive water hyacinth (*Eichhornia crassipes*): a review. *Freshwater Biology*, 282-298. doi:10.1111/j.1365-2427.2009.02294.x

## MORFOLOGÍA

**Hojas:** Se encuentran dispuestas en forma de roseta, flotantes de entre 5 a 65 cm, peciolo con un limbo ovado y plano, inflados de entre 3 a 50 cm.

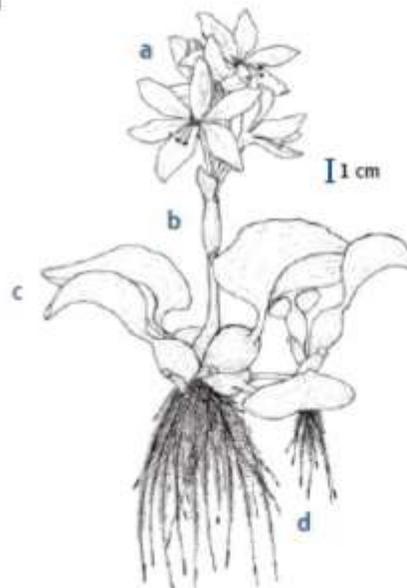
**Tallo:** Hinchados en la base envuelta con una hoja en el bulbo, mismo que está formado por tejidos esponjosos que le permite flotar.

**Flores:** Espigas hermafroditas zigomorfas de entre 2.5 a 5 cm, 6 tépalos fijados a un tubo con 6 lóbulos libres con una tonalidad azul o mayormente violeta con una pequeña mancha superior color amarillo oscuro, 6 estambres divididos en 3 superiores, de mayor tamaño y 3 inferiores, 3 carpelos soldados en un ovario.

**Fruto:** Cápsulas que albergan una gran cantidad de semillas en su interior.



- a) Flores
- b) Tallo
- c) Hojas
- d) Raíz



## *Pistia stratiotes*

Alismatales - Araceae

### Ecología

Es una especie de planta acuática flotante que es considerada como una maleza, formando comunidades densas en su superficie, que pueden ser un obstáculo en los cursos de agua y a su vez proporcionar hábitat para especies de mosquitos que pueden ser vectores de enfermedades. Se desarrolla bajo condiciones de pH 4 a 6,5. La germinación de sus semillas no se realiza con la planta sumergida, por lo que se realiza cuando la planta se encuentra confinada en las orillas del cuerpo de agua.

### Características

Planta de gran potencial invasivo, perenne, monocotiledónea. Se reproduce de forma asexual mediante semillas o por división terminando conectadas la planta madre y la planta hija por medio de un estolón corto.

### Hábitat y Distribución

Presente en cursos de agua como estanques en canales de agua dulce, ríos, lagos y otras zonas húmedas de temperaturas cálidas en zonas tropicales y subtropicales alrededor de todo el mundo. Nativa de África. Altura entre los 0 - 2200 m.s.n.m.

### Interés

**Ornamentales:** Comúnmente utilizadas en acuarios para proporcionar cubierta en la producción de peces pequeños.

**Medicinales:** Contiene propiedades antisépticas, antidiarreicas y antituberculas.

**Ecológico:** Se la puede utilizar como competencia y control de algas no deseadas (sin embargo tiene alto potencial invasivo).

### Estado de conservación

**UICN Lista Roja Ecuador:** No incluida

**UICN Lista Roja Internacional:** Preocupación menor

### Bibliografía

- García, P., Fernández, R., & Crujeano, S. (2010). Habitantes del agua. Macrófitos. Andalucía: Agencia Andaluza del Agua. Obtenido de [http://www.jolube.es/pdf/libro\\_macrofitos\\_andalucia\\_2010.pdf](http://www.jolube.es/pdf/libro_macrofitos_andalucia_2010.pdf)
- Pieterse, A., Delange, L., & Verhagen, L. (1981). A study on certain aspects of speed germination and growth of *Pistia stratiotes* L. Acta Botánica Neerlandica, 47-57. doi:10.1111/j.1438-8677.1981.tb00386.x



LECHUGA DE AGUA O  
REPOLLO DE AGUA



## MORFOLOGÍA

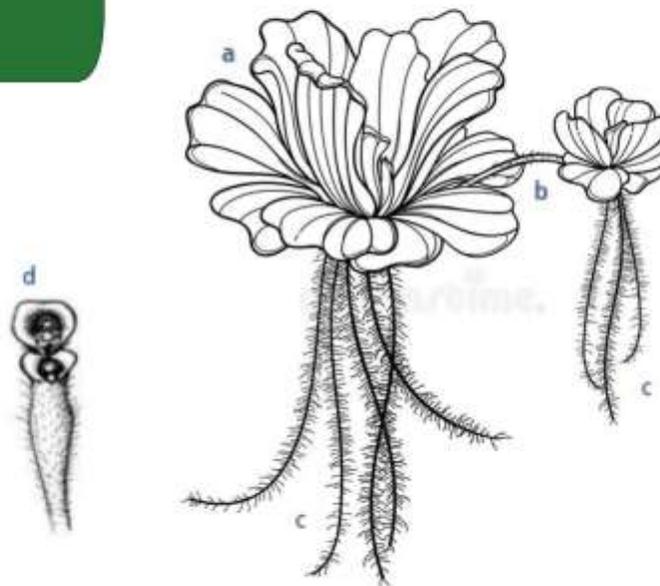
**Hojas:** Se encuentran dispuestas en forma de roseta, flotantes de entre 5 a 20 cm de diámetro y hasta 14 cm de largo, nerviación ramificadas en paralelo.

**Flores:** Dioicas, se presentan ocultas en el centro de la planta, entre sus hojas.

**Fruto:** Bayas de tamaño pequeño de tonalidad verdosa.



- a) Hojas
- b) Estolón
- c) Raíz
- d) Flor



## • *Myriophyllum aquaticum*

Saxifragales - Haloragaceae

### Ecología

Llega a crecer en corrientes de agua dulce como arroyos, lagos, ríos, canales y estanques con niveles considerables de nutrientes. Tiene potencial de dispersión constante mediante reproducción asexual por propágulos que pueden dispersarse por varios meses dentro de varios kilómetros en sus periodos de dispersión clonal. Su presencia puede implicar la competencia y desplazamiento de especies acuáticas nativas, así como también la disminución de la calidad del agua en su ecosistema.

### Características

Planta herbácea o arbusto perenne, mayormente acuática o semiacuática, dioica y robusta. Abundante presencia en el área de estudio por su carácter altamente invasivo. También es una planta de potencial ornamental.

### Hábitat y Distribución

Presente en zonas cálidas, ecosistemas como lagos, bahías, estanques, canales, arroyos, ríos, zanjas y pastizales inundados en profundidades de hasta 5 m. Altura entre 1700 - 2200 m.s.n.m. Originaria del continente sudamericano, en el río Amazonas se encuentra dispersa en Europa, Norteamérica y Sudáfrica, por su potencial comercial en acuarios.

CIPRÉS DE AGUA, MIL HOJAS  
ACUÁTICAS O COLA DE ZORRA



### Interés

**Ornamentales:** Comúnmente utilizadas en acuarios como planta oxigenadora y refugio para peces.

### Estado de conservación

**UICN Lista Roja Ecuador:** No incluida  
**UICN Lista Roja Internacional:** No incluida

### Bibliografía

- Burgos, M., & Castillo, G. (2017). Flora de Bajo y de Regiones Adyacentes. Pátzcuaro: Instituto de Ecología A.C. Obtenido de <http://inecolbajo.inecol.mx/floradelbajo/documentos/fasciculos/ordinarios/Haloragaceae%20196.pdf>
- Xiong, W., Zhu, S., Zhu, J., Yang, L., Du, S., Wu, Y., ... Bowler, P. (2021). Distribution and impacts of invasive parrot's feather (*Myriophyllum aquaticum*) in China. *BiolInvasions Records*, 796-804. doi:<https://doi.org/10.3391/blr.2021.10.4.04>

## MORFOLOGÍA

**Hojas:** Verticiladas, presentes en agrupaciones de 5 por cada nudo en dirección a la parte apical de la planta, peciolo de entre 4 a 5 mm de largo, láminas pinnadas con alrededor de 9 a 18 pares opuestas alternas, con un ápice truncado, glaucas y monomórficas de entre 1 a 6 cm de largo con un contorno elíptico.

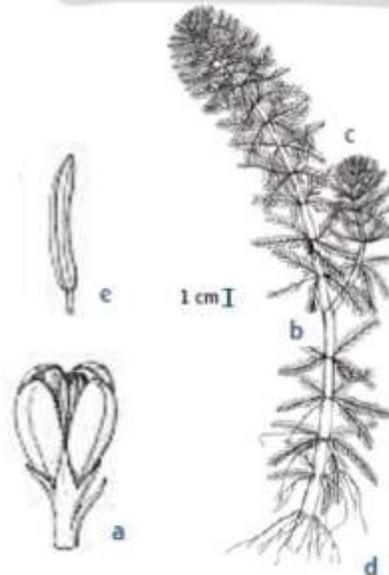
**Tallo:** Alcanza hasta los 2 m de longitud, frágiles con rizomas presentes emergiendo desde los nodos inferiores con una longitud entre los 7 a 20 cm.

**Flores:** Unisexuales, presentes de forma individual en la zona axilar, presentan 2 brácteas, 4 sépalos de tonalidad crema de hasta 1.4 mm de largo, ovalados con márgenes enteros o levemente dentados, 4 pétalos ovalados oblongos de hasta 3 mm de largo, 8 estambres, anteras de tonalidad amarillenta, lineares a oblongas de entre 2 a 2.7 mm de longitud, 4 estigmas de tonalidad blanca, 4 estilos.

**Fruto:** Nuecillas ovoides de hasta 1.8 mm de longitud.



- a) Flor
- b) Tallo
- c) Hojas
- d) Raíz
- e) Fruto



## Schoenoplectus californicus

Poales - Cyperaceae

### Ecología

Especie de floración es constante a lo largo del año. Su presencia es dominante en estuarios. Es tolerante a aguas residuales con gran carga orgánica y el vigor de los individuos puede disminuir con el aumento de la salinidad en su medio y posee gran capacidad de bioacumulación de nutrientes a diferencia de otras especies de macrófitas emergentes.

### Características

Planta perenne que puede alcanzar hasta los 4 m de altura, de fácil adaptación a ecosistemas acuáticos en niveles nivelados. Tiene potencial como materia prima para la fabricación de artesanías y esterías.

### Hábitat y Distribución

Especie nativa de las regiones costeras del sur y oeste de Norteamérica, dispersa hasta Sudamérica. Crece en zonas inundadas de aguas poco salobres, en las orillas fangosas de humedales como ríos, lagos, lagunas y estanques. Altura entre los 0 - 3750 m.s.n.m.

### Interés

**Materia prima:** Su tallo se puede usar en la construcción de artesanías, esterías, embarcaciones, techos, paredes para cobertizos y pequeñas edificaciones.

**Ecológico:** Tiene capacidad de depurar nutrientes y asimilar nitrógeno y fósforo en aguas residuales. También dentro de sus matorrales ofrece hábitat para varias especies de aves acuáticas.

### TOTORA O JUNCO



### Estado de conservación

**UICN Lista Roja Ecuador:** No incluida  
**UICN Lista Roja Internacional:** No incluida

### Bibliografía

- Ayamamani, M., & Valero, W. (2020). Schoenoplectus californicus como depuradora de nitrógeno y fósforo en el tratamiento de aguas residuales provenientes del río Torococha Juliaca - 2019. Juliaca: Universidad Andina Néstor Caceres Velásquez. Obtenido de <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UCANCV/4745>
- García, P., Fernández, R., & Cruzano, S. (2010). Habitantes del agua: Macrófitas. Andalucía: Agencia Andaluza del Agua. Obtenido de [http://www.jolube.es/pdf/libro\\_macrofitas\\_andalucia\\_2010.pdf](http://www.jolube.es/pdf/libro_macrofitas_andalucia_2010.pdf)
- Lange, P. D., Gardner, R., Champion, P., & Tanner, C. (1998). Schoenoplectus californicus (Cyperaceae) in New Zealand. New Zealand Journal of Botany, 31(9-10), 327. doi:10.1080/0028825X.1998.9512573

## MORFOLOGÍA

**Hojas:** Basales, de tamaño reducido a las vainas.

**Tallo:** Gruesos erectos, alcanzan el 1 cm de diámetro con rizomas en disposición horizontal de entre 1 y 2 cm de diámetro con una tonalidad rojiza a verde oscura.

**Flores:** Flores unisexuales agrupadas en inflorescencias en espigas pseudolaterales y ramificadas de hasta 5 cm de longitud, presentan una tonalidad naranja a castaño rojiza.

**Fruto:** Aquenios lenticulares, bioconvexos a aplanados convexos de estructura lisa o transversalmente rugosos de color castaño.



- a) Hojas
- b) Tallo
- c) Raíz
- d) Flor



## *Typha latifolia*

Poales - Typhaceae

### Ecología

Pertenece a un género de especies de distribución cosmopolita, es altamente tolerante a los suelos de pH ácido, alcalinos, a condiciones levemente salinas y medios ricos en nutrientes. Su crecimiento se puede ver limitado por los mecanismos de competencia interespecífica e intraespecífica por espacio con otras poblaciones, promoviendo la segregación de hábitat de otras especies.

### Características

Planta hidrófita perenne, alcanza entre el 1 a 3 m de altura, subcosmopolita, crece en profundidades no mayores a los 40 cm. De reproducción vegetativa, se multiplica por división de rizomas y dispersión de semillas. Puede ser catalogada como invasora. Tiene potencial como materia prima para la elaboración de artesanías.

### Hábitat y Distribución

Se ha distribuido en zonas templadas y subtropicales, en gran parte de la Península Ibérica, en el norte y este. Esta especie habita en zonas húmedas de movimientos lentos de agua, comúnmente en los márgenes de lagos, estuarios, canales de irrigación, estanques, pantanos y en campos de cultivos de arroz. Nativa de América del Sur y Centroamérica. Altura entre 1680 - 2700 m.s.n.m.



TOTORA, ESPADAÑA O  
BOGA



### Interés

**Materia prima:** Su tallo se puede usar como material de tejido, en la construcción de artesanías, esteras, embarcaciones, techos, paredes para cobertizos y pequeñas edificaciones.

**Ecológico:** Tiene capacidad de depurar nutrientes.

También dentro de sus matorrales ofrece hábitat para varias especies de aves acuáticas.

### Estado de conservación

**UICN Lista Roja Ecuador:** No incluida

**UICN Lista Roja Internacional:** Preocupación menor

### Bibliografía

- AFPO. (2008). Base de datos de plantas con flores africanas - Base de Données des Plantes a Fleurs D'Afrique. Argona: AFPO. Obtenido de [www.ville-ge.ch/tjb/bd/africa/index.php](http://www.ville-ge.ch/tjb/bd/africa/index.php)
- Urrutia, J., Markorena, A., & Sanchez, P. (2017). *Typha latifolia* L. (Typhaceae), nuevo registro para la flora de Chile. Gayana Bot, 299-301. Obtenido de <https://www.scielo.cl/pdf/gbot/v74n2/0717-6643-gbot-74-02-00299.pdf>

## MORFOLOGÍA

**Hojas:** Mayormente basales, lineares, angostas de hasta 15 mm de diámetro.

**Tallo:** Gruesos erectos, alcanzan el 1 cm de diámetro, de estructura cilíndrica con rizomas superficiales.

**Flores:** Inflorescencia compuesta por flores unisexuales, dispuestas en un ápice compactado. Las flores masculinas se encuentran en la parte superior, con una tonalidad amarillenta, mientras que las flores femeninas en la parte inferior, siendo las más anchas con una tonalidad oscura.

**Fruto:** Aquenios lenticulares con tricomas basales, llegan a medir hasta el 1 cm.



- a) Hojas
- b) Tallo
- c) Raíz
- d) Flor
- e) Fruto



## Cyperus papyrus

Poales - Cyperaceae

### Ecología

La presencia de esta especie está ligada a que las corrientes de agua que mantenga sumergido parte de sus rizomas. Posee tolerancia a un rango amplio de pH entre cuatro a ocho, y una baja tolerancia a la salinidad, también es sensible a la alteración de los factores bióticos como la presencia de otras especies que representen competencia y el cambio en el régimen hidrológico, estos factores pueden representar la desaparición de esta especie en un ecosistema.

### Características

Planta palustre o acuática de rápido crecimiento, preferentemente en orillas, alcanza hasta los 5 m de altura. Presenta mayor cantidad de biomasa en los órganos aéreos como el tallo y la umbela. Su época de floración es en verano y es de gran potencial ornamental. Clasificada como macrófita emergente.

### Hábitat y Distribución

Esta especie es originaria África, en la cuenca del mar mediterráneo, con un auge de crecimiento en el Nilo. Puede crecer en sistemas lénticos y lóticos poco salobres ricos en nutrientes, en tierras pantanosas y zonas inundadas como ríos, lagos y estanques. Altura entre los 1200 - 2820 m.s.n.m.

### Interés

**Ornamental:** Se la utiliza para adornar pequeños estanques, embalses o zonas inundadas, de igual forma espacios terrestres o macetas.

**Medicinal:** Su leche se utilizaba en la antigüedad como aislante nutritivo para el cabello.

**Materia prima:** En el antiguo Egipto se utilizaba para la fabricación de papel.



**PAPIRO, O PAPIRO DE  
EGIPTO**



### Estado de conservación

**UICN Lista Roja Ecuador:** No incluida  
**UICN Lista Roja Internacional:** Preocupación menor

### Bibliografía

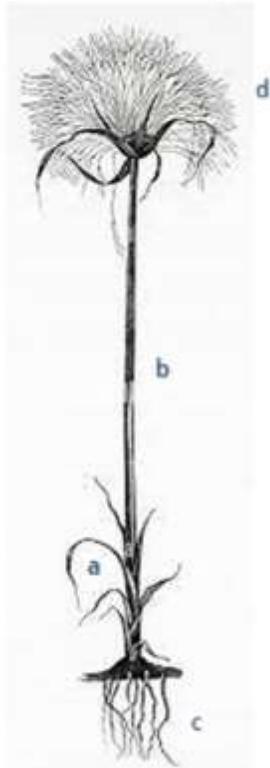
- García, P., Fernández, R., & Orujano, S. (2010). Habitantes del agua. Macrófitos. Andalucía: Agencia Andaluza del Agua. Obtenido de [http://www.jaluzae.es/pdf/libro\\_macrofitos\\_andalucia\\_2010.pdf](http://www.jaluzae.es/pdf/libro_macrofitos_andalucia_2010.pdf)
- Ludlow, B., & Diego, N. (2002). Utilidad e importancia histórica y cultural de las Cyperaceae. Etnobiología 2, 90-102. Obtenido de <http://repositorio-ciencias.unam.mx:8080/jspui/bitstream/11154/141529/1/Cultural%20de%20Cyperaceae%20NelyD.pdf>
- Serag, M. (2003). Ecology and biomass production of *Cyperus papyrus* L. on the Nile bank at Damietta, Egypt. Journal of Mediterranean Ecology, 15-24. Obtenido de <http://www.jmrecology.com/wp-content/uploads/2014/03/03serag.pdf>

## MORFOLOGÍA

**Hojas:** Basales, de tamaño reducido.

**Tallo:** Delgados, de forma triangular, glabros de entre 300 a 500 cm de alto y entre 25 a 45 mm de diámetro.

**Flores:** inflorescencias en umbelas compuestas dispuestas de forma terminal, formada por espiguillas delgadas agrupadas en cabezuelas con tonalidades pardas. Presenta brácteas filiformes de menor tamaño que los radios similares a las hojas.



- a) Hojas
- b) Tallo
- c) Raíz
- d) Flor

## Cyperus odoratus

Poales - Cyperaceae

### Ecología

Es una especie de distribución cosmopolita, crecen sobre distintos tipos de sustrato, generalmente en espacios cenagosos en los cuales el suelo está saturado de agua o en los alrededores de cuerpos de agua y puede ser consideradas invasoras dentro de los cultivos debido a su fácil adaptación en áreas intervenidas y las prácticas de control de malezas dentro de las mismas. Su dispersión se da por medio de tubérculos y semillas.

### Características

Planta perenne de vida corta o anual. Ronda los 16 hasta los 60 cm de altura. Especie variable, comúnmente llega a separarse en varias unidades.

### Hábitat y Distribución

Especie de distribución cosmopolita, presente en zonas húmedas, orillas de canales de riego, estanques y zonas perturbadas de regiones tropicales y templadas. Nativa de América del Norte. Altura hasta los 2250 m.s.n.m.

### Interés

**Alimenticio:** Se la ha llegado a utilizar como forraje para animales de granja.

### Estado de conservación

**UICN Lista Roja Ecuador:** No incluida  
**UICN Lista Roja Internacional:** Preocupación menor

### Bibliografía

- Fedón, I. (2012). Catálogo comentado del género *Cyperus* L. (Cyperaceae) en Venezuela. ANARTIA, 9-73. Obtenido de <http://bdigital.uiake/storage/pdf/anartia24/art102.pdf>
- García, P., Fernández, R., & Cirujano, S. (2010). Habitantes del agua. Macrófitos. Andalucía: Agencia Andaluza del Agua. Obtenido de [http://www.jokube.es/pdf/libro\\_macrofitos\\_andalucia\\_2010.pdf](http://www.jokube.es/pdf/libro_macrofitos_andalucia_2010.pdf)
- Ludlow, B., & Diego, N. (2002). Utilidad e importancia histórica y cultural de las Cyperaceae. Etnobiología 2, 90-102. Obtenido de <http://repositorio.ciencias.unam.mx/8080/jspui/bitstream/1154/141529/1/Cultural%20de%20Cyperaceae%20NellyD.pdf>



TOTORILLA O JUNCIA  
PLANA



## MORFOLOGÍA

**Hojas:** Laminarés en forma de v en cortes transversales, alcanzan entre los 10 a los 65 cm de largo y entre 4 a 12 mm de ancho. Presentan una tonalidad café verdosa.

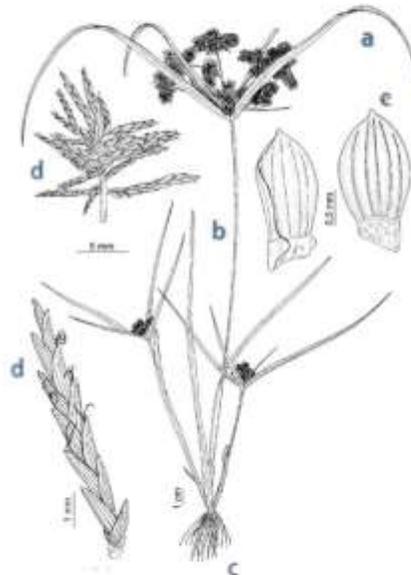
**Tallo:** Triquero, alcanza los 5 mm de diámetro. Ocasionalmente presentan una formación semejante a un bulbo en la base.

**Flores:** Espiguillas de entre 5 a 27 mm de longitud con 1 mm de diámetro en grupos de 3. Tonalidad café rojizo, entre 4 a 10 brácteas de hasta 70 cm de longitud con 12 mm de diámetro, 6 a 10 pedúnculos de hasta 20 cm de largo con pedúnculos secundarios de hasta 4 cm de largo.

**Fruto:** Aquenios de 1.5 mm de longitud y 0.7 mm de diámetro en forma triangular con los bordes aplanados semicurvados, superficie punculada con una tonalidad café oscuro.



- a) Hojas
- b) Tallo
- c) Raíz
- d) Flor
- e) Fruto



## Arundo donax

Poales - Poaceae

### Ecología

Esta especie ya establecida, presenta alta tolerancia a la sequía y altos niveles de salinidad. Su forma habitual de colonización parte de la fragmentación y transporte de sus rizomas por medio de corrientes hídricas. Su presencia puede alterar la estructura vegetativa autóctona del ecosistema que coloniza, también reduce la dominancia de especies de artrópodos y aves. Es una especie altamente competitiva por su rápido crecimiento y fácil adaptabilidad.

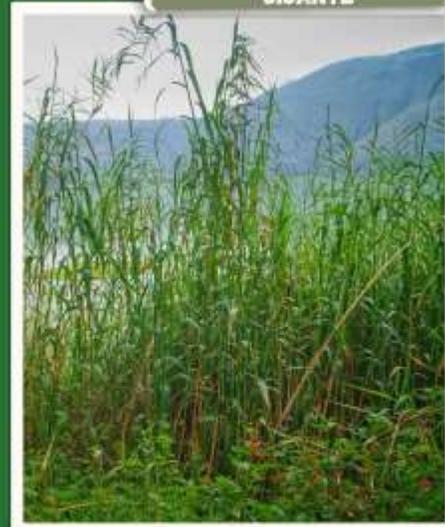
### Características

Planta perenne, es la especie de mayor tamaño dentro de su género. Reproducción asexual por multiplicación. De alto potencial invasivo y difícil erradicación. Nociva para ecosistemas acuáticos por la generación de sombra que aumenta la temperatura del agua y disminuye la producción de oxígeno.

### Hábitat y Distribución

Presente en espacios de poca sombra, crecen cerca de humedales como canales, arroyos, ríos, zanjas, lagos y lagunas. Nativa de Asia, actualmente se encuentra dispersa en Asia, el sur de Europa, el norte de África y Oriente medio a causa de su cultivo prolongado a lo largo del tiempo. Altura entre 1100 - 3200 m.s.n.m.

### CARRIZO O CAÑA GIGANTE



### Interés

**Medicinal:** Tiene propiedades diuréticas y puede restringir la producción de leche. En uso externo ayuda a la disminución de la pérdida de cabello. Sin embargo, el consumo prolongado puede causar problemas en la salud.

**Materia prima:** Se utiliza su estructura para formar cestas, instrumentos musicales y como soportes.

**Agrícola:** Se lo utiliza como corta vientos y control de plagas en la protección de cultivos.

### Estado de conservación

**UICN Lista Roja Ecuador:** No incluida

**UICN Lista Roja Internacional:** Preocupación menor

### Bibliografía

- CONABIO. (2012). Fichas de especie Arundo donax. Sistema de información sobre especies invasoras en México. México D.F. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Obtenido de <https://www.gob.mx/conabio>
- Lambert, A., Dudley, T., & Saltonstall, K. (2017). Ecology and Impacts of the Large-Statured Invasive Grasses Arundo donax and Phragmites australis in North America. *Invasive Plant Science and Management*, 489-494. doi:<http://dx.doi.org/10.1614/IPS-M-D-10-00031.1>

## MORFOLOGÍA

**Hojas:** Laminares, alternas de tonalidad verde glauco de entre 30 a 60 cm de largo. La tonalidad puede variar a amarillo de acuerdo a la variación de clima o estación. Poseen un apéndice membranoso de 1 mm, en la unión de su limbo foliar llamado lígula.

**Tallo:** Erecto o arqueado, vigoroso, hueco, de entre 5 a 7 m de longitud y 2 cm de diámetro. Segmentado por nudos en forma de anillos que albergan sus yemas de las cuales emergen ramas secundarias desde el segundo año de vida los cuales le permiten enraizar si se encuentran en contacto con el sustrato. Ricos en fibra.

**Flores:** Inflorescencia en espiga, formada por flores pequeñas en agrupaciones de 3, presentes con panículas densas. Su tonalidad varía entre blanquecino a violeta.



- a) Hojas
- b) Tallo
- c) Raíz
- d) Flor



## *Hydrocotyle verticillata*

Apiales - Araliaceae

### Ecología

Esta especie está restringida en sitios de mucha luminosidad y es adaptable a medios altamente orgánicos en espacios húmedos o inundados. Tolerancia el alto contenido de nitrato y calcio y su rango de pH es cercano a 6. En espacios naturales no se la considera como maleza, sin embargo, en cultivos sí se considera como una maleza.

### Características

Planta rastrera y trepadora, de crecimiento medio de entre 5 a 15 cm de altura. Su reproducción es mediante rizomas o brotes laterales.

### Hábitat y Distribución

Esta especie es originaria del continente Americano, está presente en zonas pantanosas y húmedas tales como lagos, estanques y pequeños canales de riego. También se la encuentra en estanques privados. Altura entre 1700 - 2200 m.s.n.m.

### Interés

**Ornamental:** Se la utiliza en acuarios y estanques por su fácil adaptabilidad.

### Estado de conservación

**UICN Lista Roja Ecuador:** No incluida  
**UICN Lista Roja Internacional:** Preocupación menor

### Bibliografía

- AFPD. (2008). Base de datos de plantas con flores africanas - Base de Données des Plantes à Fleurs D'Afrique. Anjora: AFPD. Obtenido de [www.ville-ge.ch/q/biod/africa/index.php](http://www.ville-ge.ch/q/biod/africa/index.php)
- Sultan, S., Wilczek, A., Bell, D., & Hand, G. (1998). Physiological response to complex environments in annual Polygonum species of contrasting ecological breadth. *Decologia*, 564-578. doi: 10.1007/s004420050554



**SOMBRERITO  
AMERICANO**



## MORFOLOGÍA

**Hojas:** Alternas, carnosas en láminas ovaladas de hasta 3 cm de diámetro. Presentan entre 9 a 13 nervios.

**Tallo:** Delgado, postrados, presentan nudos y entre nudos de hasta 8 cm.

**Flores:** Flores hermafroditas sésiles o subsésiles con una bractéola lanceolada de entre 0.9 a 1.1 mm con pecíolos glabros y pedicelos de entre 0.2 a 0.4 mm.



- a) Hojas
- b) Tallo
- c) Raíz
- d) Flor



## *Bacopa monnieri*

Lamiales - Plantaginaceae

### Ecología

Esta especie crece en sustratos arenosos, se dispersa por propagación vegetativa del tallo debido a que no es capaz de producir semillas. Tiene gran potencial en el campo medicinal y es capaz de tolerar y bioacumular metales pesados.

### Características

Planta rastrera y trepadora, de crecimiento medio de entre 5 a 15 cm de altura. Su reproducción es mediante rizomas o brotes laterales.

### Hábitat y Distribución

Especie originaria de América del Norte y distribuida a lo largo del continente americano y las Antillas, es común de zonas húmedas como corrientes de agua, orillas de lagos, riberas de ríos y estanques. Altura entre 0 – 3500 m.s.n.m.



HISOPO DE AGUA O  
VERDOLAGA DE PUERCO



### Interés

**Medicinal:** Tiene un amplio uso en el campo de la medicina, se la utiliza para reducir la neurosis, hipertensión arterial, controlar la ansiedad, retrasar el envejecimiento, mejora la memoria, trata mordeduras de serpientes, previene el Alzheimer y mejorar la digestión.

### Estado de conservación

**UICN Lista Roja Ecuador:** No incluida  
**UICN Lista Roja Internacional:** Preocupación menor

### Bibliografía

- Fuentes, A., Moraes, M., Bach, K., Ratti, G., Wolf, M., & Alvarez, P. (2021). Bacopa monnieri: Historical aspects to promising pharmacological actions for the treatment of central nervous system diseases. BOLETIN LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE PLANTAS MEDICINALES Y AROMÁTICAS. doi:https://doi.org/10.37360/blacpma.22.21.2.09
- Pierce, S., Pezeshki, S., Larsen, D., & Moore, M. (2009). Hydrology and species-specific effects of Bacopa monnieri and Laersia oryzoides on soil and water chemistry. Ecohydrology, 279–286. doi:10.1002/ecc.54

## MORFOLOGÍA

**Hojas:** Ovaladas dispuestas por pares opuestas en el nudo donde se hacen más angostas. Se distancian entre nudos con 1 cm y alcanzan hasta los 2 cm de longitud y 1 cm de diámetro. Presentan una tonalidad verde a verde oscuro.

**Tallo:** Delgado y erguido, semisumergido, puede alcanzar hasta los 40 cm de longitud.

**Flores:** Campanulada, con corola semisimétrica de forma radial, de tonalidad morada, blanca o violeta. Varía entre los 8 a 10 mm de largo, anteras de hasta 2 mm de largo, estilo de 5 mm de largo y sépalos de hasta 6 mm de largo.

**Fruto:** Bayas que contienen semillas de tonalidades cafés o amarillas.



- a) Hojas
- b) Tallo
- c) Raíz
- d) Flor



## *Polygonum hydropiper*

Caryophyllales - Polygonaceae

### Ecología

Especie restringida en sitios de mucha luminosidad y es adaptable a medios altamente orgánicos en espacios húmedos o inundados. Tolerancia al alto contenido de nitrato y calcio y su rango de pH es cercano a 6. En espacios naturales no se la considera como maleza, sin embargo, en cultivos sí se considera como una maleza.

### Características

Planta herbácea perenne, labra, anual, alcanza los 50 cm de altura. Soporta variaciones de temperatura, florece en los meses de julio a octubre. Su presencia es indicadora de alcalinidad.

### Hábitat y Distribución

Esta especie es originaria de América del Norte, presente en zonas húmedas como canales de riego, ríos o estanques. Altura entre 1300 - 2600 m.s.n.m.

### Interés

**Alimenticia:** Se la puede usar como especia.

**Medicinal:** Tiene propiedades antioxidantes, es diurética, anti-inflamatoria y alivia dolores asociados a los cólicos. También se aplica como desinflamante sobre golpes o heridas.

### Estado de conservación

**UICN Lista Roja Ecuador:** No incluida

**UICN Lista Roja Internacional:** Preocupación menor

### Bibliografía

- AFPO. (2008). Base de datos de plantas con flores africanas - Base de Données des Plantes à Fleurs D'Afrique. Angora: AFPO. Obtenido de [www.ville-ge.ch/igjbdbd/afrique/index.php](http://www.ville-ge.ch/igjbdbd/afrique/index.php)
- Sultan, S., Wilczek, A., Bell, D., & Hand, G. (1998). Physiological response to complex environments in annual *Polygonum* species of contrasting ecological breadth. *Oecologia*, 116, 564-578. doi: 10.1007/s004420059554



PIMIENTA DE AGUA

## MORFOLOGÍA

**Hojas:** Entre 4 a 8, oval - lanceoladas de peciolo corto que alcanza hasta 7 cm de longitud y 1 cm de ancho.

**Tallo:** Delgados, de entre 20 a 70 cm de longitud, levemente ramificados, ocasionalmente enraizantes en los nudos inferiores. Presentan una tonalidad verde a rojiza.

**Flores:** Inflorescencia en espiga con el eje arqueado, flores axilares dispuestas en agrupaciones de 1 a 3 sobre un pedicelo. Perianto formado por 4 piezas de tonalidad blanca a verdosa, androceo con 8 estambres, gineceo con 2 estilos soldados a la base.

**Fruto:** Aquenio convexo que alcanza los 3.5 mm, con tonalidades pardas matizadas.



- a) Hojas
- b) Tallo
- c) Raíz
- d) Flor



## Baccharis latifolia

Asterales - Asteraceae

### Ecología

Es una especie con gran potencial de colonización de áreas disturbadas con suelos pobres y difíciles. Se adapta a temperaturas medias entre los 7 a 19 °C y presenta gran tolerancia a suelos de bajo contenido de nutrientes y carentes de humedad. Tiene alto potencial en el tratamiento de enfermedades y dolencias físicas.

### Características

Árbol o arbusto glabro que puede crecer hasta los 4 m de altura con 3 m de ancho, de rápido crecimiento, forma parte de la vegetación límite del bosque donde se concentra la mayor cantidad de especímenes entre los 1000 a 3000 m.s.n.m.

### Hábitat y Distribución

Crece en climas fríos entre los 7 a 19 °C como arbustos. Nativa y distribuida en Sudamérica, en la zona andina desde Venezuela hasta Argentina en un rango altitudinal entre los 1600 a 3800 m.s.n.m.

### Interés

**Medicinal:** Por sus propiedades antiinflamatorias y cicatrizantes, se la aplica en infusiones, baños o las hojas directo en la zona afectada. Se usa sus hojas tostadas en las articulaciones como tratamiento para el reumatismo. También se la usa como analgésico en el tratamiento de enfermedades hepáticas.

### Estado de conservación

**UICN Lista Roja Ecuador:** No incluida  
**UICN Lista Roja Internacional:** Preocupación menor

### Bibliografía

- Monroy, E., & Ramos, Y. (2015). Análisis fitoquímico y evaluación de la actividad antibacteriana y antioxidante de la especie vegetal Baccharis latifolia. Bogotá: Universidad Francisco José de Caldas. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/58041/DOCUMENTO%20FINAL%20BACCHARIS%20LATIFOLIA.pdf?sequence=1>
- Roncleroux, K., Cárate-Tandalla, D., Erier, R., Navarrete, H. 2019. Baccharis latifolia En: Plantas vasculares de los bosques de Polylepis en los páramos de Oyacachi. Version 2019.0 <<https://bioweb.bioforaweb/polyepis/FichaEspecie/Baccharis%20latifolia>>, acceso Domingo, 2 de Abril de 2023.



CHILCA O CHILCO



## MORFOLOGÍA

**Hojas:** Simples alternas, elípticas u oblongas lanceoladas de hasta 20 cm de largo, enteras con peciolo de entre 10 a 30 mm, margen serrado dentado, acuminadas con tres nervios prominentes desde la base.

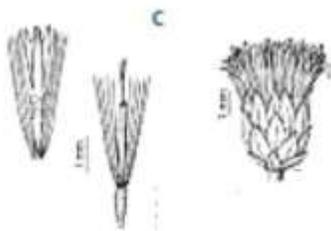
**Tallo:** Altamente ramificado, estriado, sus ramas presentan glándulas resiníferas y estípulas ausentes.

**Flores:** Inflorescencia paniculada que crece desde las axilas de las ramas, compuesta de entre 15 a 32 pequeñas flores pentámeras, 5 estambres, cáliz con dientes desiguales ovados, capítulos entre 20 a 22 flores estaminadas.

**Fruto:** Cápsula de forma ovoidal con semillas oblongas.



- a) Hojas
- b) Tallo
- c) Flor



## *Ricinus communis*

Malpighiales - Euphorbiaceae

### Ecología

Se extiende de forma natural en zonas baldías y vertederos con temperaturas que varían entre los 20 a 26 °C. También se encuentra cultivada para la extracción de ricina en aplicaciones industriales o incluso con usos ornamentales. Sus semillas y follaje son altamente tóxicos para el ser humano, al punto de afectar varios órganos hasta causar la muerte.

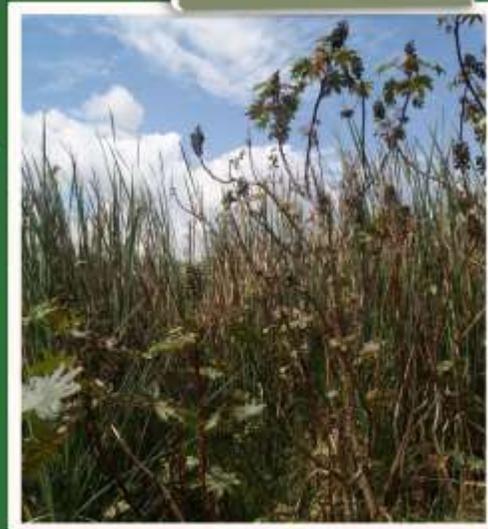
### Características

Especie de planta perenne de hasta 6 m de alto, potencialmente invasiva por su fácil adaptabilidad a medios disturbados. Su capacidad de crecimiento es rápida, esparciéndose fuera de sus cultivos y colonizando todo el medio a su alrededor.

### Hábitat y Distribución

Especie originaria de India, África y sureste de Europa. Crece en terrenos baldíos y en los filos de calles y carreteras, se encuentra ampliamente distribuida en las regiones tropicales, subtropicales y países de climas templados en ambos hemisferios. Altura óptima a 2500 m.s.n.m.

### HIGUERILLA O RICINO



### Interés

**Industrial:** Tiene aplicaciones en la industria de la pintura y fabricación de lubricantes de uso mecánico con base en su ricina.

**Ornamental:** Se la usa como adorno para jardines de países tropicales o como planta de interiores en países templados.

### Estado de conservación

**UICN Lista Roja Ecuador:** No incluida  
**UICN Lista Roja Internacional:** No incluida

### Bibliografía

- Machado, R., Suárez, J., & Alfonso, M. (2012). Caracterización morfológica y agroproductiva de procedencias de *Ricinus communis* L. para la producción de aceite. Pastos y Forrajes, 381-392. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v35n4/pyf03412.pdf>
- Peña, G. (2021). Morfometría y fisiología de plantas de ecotipos silvestres de higuierilla (*Ricinus communis* L.) del norte de México. Durango: Universidad Autónoma Chapingo. Obtenido de <https://repositorio.chapingo.edu.mx/server/api/core/bitstreams/090f1d5e-f83f-4797-892a-352447af685/content>

## MORFOLOGÍA

**Hojas:** Alternas, palmeadas con entre 5 a 11 lóbulos desiguales, de filo dentado, pecioladas con nerviación palmatinervia. Alcanzan hasta los 50 cm de diámetro. Toman tonalidades verde oscuro o glaucas.

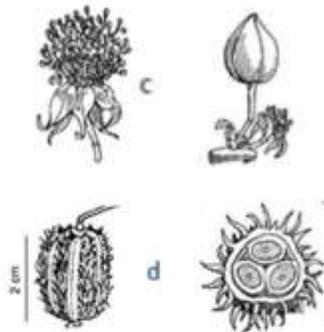
**Tallo:** Leñoso, hueco, engrosado y ramificado, de color púrpura o glauco.

**Flores:** Inflorescencias en cimas bracteadas. Flores masculinas con perianto de entre 6 a 12 mm de largo, y las flores femeninas entre 4 a 8 mm de largo.

**Fruto:** Cápsula subglobosa cubierta por gruesas espinas cortas. Contienen semillas brillantes y lisas de tonalidades entre café y gris.



- a) Hojas
- b) Tallo
- c) Flor
- d) Fruto



## *Physalis peruviana*

Solanales - Solanaceae

### Ecología

Es una especie común de climas fríos y templados a una temperatura promedio anual entre los 13 a los 16 °C. En temperaturas superiores se ve afectado el proceso de floración, y en temperaturas menores o heladas afectan al crecimiento de nuevas plántulas. Pueden tolerar inundaciones o encharcamientos de sus raíces, con reportes de tiempo límite de hasta cuatro días. Mientras que en épocas secas se disminuye el crecimiento de la planta y la producción de sus frutos. Crece en suelos arenosos o arcillosos que cuenten con minerales esenciales para su crecimiento como nitrógeno, potasio y boro.

### Características

Planta herbácea perenne, arbustiva muy ramificada. Su crecimiento es indeterminado con el crecimiento de sus ramificaciones en un solo eje durante su desarrollo.

### Hábitat y Distribución

Esta especie es originaria de los Andes de Sudamérica, se distribuye de forma natural o dentro de cultivos en zonas tropicales y subtropicales, sin embargo, también se encuentra dispersa en África y la India. Altura entre 1500 - 3000 m.s.n.m.

### Interés

**Alimenticia:** Su fruto destaca como una fruta promisoría para la exportación en el mercado por su sabor exótico y de alto valor nutricional.

**Medicinal:** El extracto de sus hojas contiene propiedades diuréticas, elimina la albúmina de los riñones, beneficia a los nervios ópticos y se aplica en el tratamiento de afecciones de la garganta.



UVILLA O UCHUYA



### Estado de conservación

**UICN Lista Roja Ecuador:** No incluida

**UICN Lista Roja Internacional:** No incluida

### Bibliografía

- Fischer, G., & Melgarejo, L. M. (2014). Ecofisiología de la uchuya (*Physalis peruviana* L.). En D. Moremi, Uchuya (*Physalis peruviana* L.) Fruta andina para el mundo (págs. 28-29). Murcia: Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo - CYTED. Obtenido de <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199999>
- Perea, M., Matalana, L., Tirado, A., & Rodríguez, N. (2010). Uchuya *Physalis peruviana* L. (Solanaceae). En M. Perea, L. Matalana, A. Tirado, & N. Rodríguez, Biotecnología aplicada al mejoramiento de los cultivos de frutas tropicales (págs. 466-490). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/257765328\\_Uchuya\\_Physalis\\_peruviana\\_L\\_Solanaceae](https://www.researchgate.net/publication/257765328_Uchuya_Physalis_peruviana_L_Solanaceae)

## MORFOLOGÍA

**Hojas:** Simples alternas, pecioladas y solitarias. Son de forma acorazonada, margen foliar entero, limbo ovalado y ápice agudo. Se desarrolla una hoja por nudo en la zona basal del tallo, mientras que en las ramas laterales desarrollan hasta dos hojas por nudo.

**Tallo:** Delgados de forma cilíndrica, herbáceo, liso, crece sobre un eje bifurcado naturalmente entre 8 a 12 nudos.

**Flores:** Axilares, solitarias hermafroditas, pedunculadas con pedicelos cortos que pueden alcanzar hasta los 5 cm de largo. De corola campanulada, su coloración se torna entre colores amarillos verdosos a colores crema, blanco y púrpuras.

**Fruto:** Baya suculenta de tonalidades verde, naranja o amarilla, con numerosas semillas reniformes de entre 1.5 a 2 mm de diámetro.



- a) Hojas
- b) Tallo
- c) Flor
- d) Fruto



## *Ipomoea purpurea*

Solanales- Convolvulaceae

### Ecología

Es una especie con gran potencial de colonización de áreas disturbadas, formando densos tapices que pueden cubrir grandes superficies de pared o suelos. Se adapta a temperaturas medias entre los 7 a 19 °C siendo resistente a fríos moderados y presenta gran tolerancia a suelos de bajo contenido de nutrientes y carentes de humedad. Se reproduce por semillas en condiciones favorables.

### Características

Planta enredadora anual que crece hasta los 5 m, rodeando vegetación o muros, ganando altura mientras trepa, considerándose una adaptación a la poca recepción de luz. Su fácil y rápida propagación y eficaz competencia con otras especies la ponen como una de las 10 peores malezas.

### Hábitat y Distribución

Esta especie es originaria de América tropical entre el Sur de Estados Unidos hasta Argentina y se distribuye en Norteamérica, desde México, Sudamérica y como especie invasora en Sudáfrica, Europa y Nueva Zelanda creciendo en zonas con climas cálidos dentro de bosques caducifolios, cultivos y ambientes ruderales. Altitud entre 850 a los 2500 m.s.n.m.

### Estado de conservación

**UICN Lista Roja Ecuador:** No incluida  
**UICN Lista Roja Internacional:** No incluida

### Bibliografía

- Kniekers, J., & Rausher, M. (2006). Environmental variation mediates the deleterious effects of *Calceosporium ipomoeae* on *Ipomoea purpurea*. *ESA Ecology*, 675-685. doi: <https://doi.org/10.1890/05-1327>
- Monsalvo, M., Fortunato, R., Wagner, M., & Ricco, R. (2018). Estudio farmacobotánico de *Ipomoea purpurea* (L.) Roth (Convolvulaceae). *Dominguezia*, 21-29. Obtenido de <https://www.dominguezia.org/labnam/articulos/34203.pdf>



### CAMPANILLA MORADA



### Interés

**Ornamental:** Se la usa para adornar muros y vayas por su hábito de crecimiento.

**Medicinal:** Tiene propiedades alucinógenas, analgésicas, antiinflamatorias y purgantes. Se la puede utilizar en la medicina tradicional como laxante y en el tratamiento de la sífilis.

## MORFOLOGÍA

**Hojas:** Enteras, pecioladas de forma acorazonada. Acuminadas en el ápice de entre 5 a 15 cm de largo con presencia de pubescencia.

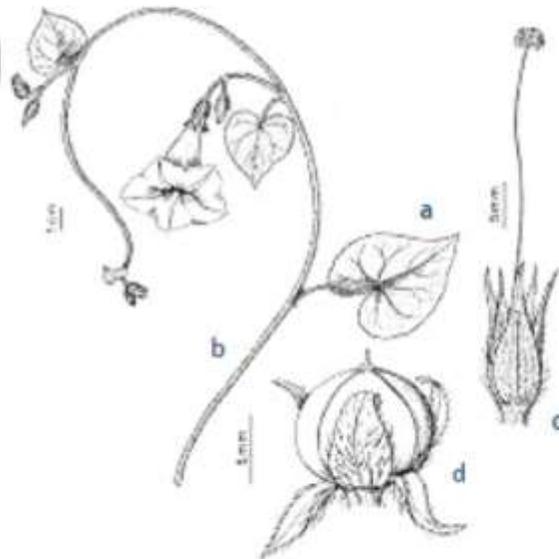
**Tallo:** Delgados, circular de hasta 0.4 cm de diámetro y 6 m de longitud. Ramificado, voluble con resaltes lineares poco marcados.

**Flores:** Entre 1 a 5 unidades, solitarias o inflorescencias en cimas axilares sostenidas por un pedúnculo que puede ser más largo que la hoja, sépalos agudos, lanceolados y cubiertos de vellosidad. Corola de tonalidad púrpura, rosada o azul de entre 4 a 6 cm.

**Fruto:** Cápsula de entre 12 mm de diámetro y 15 mm de largo, con papilas y pequeñas que da un aspecto aterciopelado. Llega a contener hasta 6 semillas.



- a) Hojas
- b) Tallo
- c) Flor
- d) Fruto





# BIBLIOGRAFÍA

---

- Gallego, D. (2015). Caracterización de las Macrófitas del humedal meandro del Say como insumo de las herramientas de conservación. Bogotá: Universidad Santo Tomas. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11634/2543>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra. (2015). Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Ibarra 2015-2023. Ibarra: Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra. Retrieved from [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdocumentofinal/1060000260001\\_PD-%20Y%20OT%20IBARRA%20UNIFICADO%20004\\_13-03-2015\\_17-34-44.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1060000260001_PD-%20Y%20OT%20IBARRA%20UNIFICADO%20004_13-03-2015_17-34-44.pdf)
- Maridueña, A., Norma Chálen, D. C., Cajas, J., Elias, E., Solis-Coello, P., Aguilar, F., . . . Revelo, W. (2011). Mortandad De Peces En La Laguna De Yahuarcocha, Cantón Ibarra, Provincia De Imbabura. Ibarra.
- Portilla, K. (2015). Evaluación del comportamiento de los parámetros físicos del agua, para determinar el estado trófico del lago Yahuarcocha, provincia Imbabura. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- Rejmánková, E. (2011). The role of macrophytes in wetland ecosystems. *JEFB: Journal of Ecology and Field Biology*, 333-345. doi:10.5141 / JEFB.2011.044
- Thomaz, S., Murphy, K., Santos, A. M., Caliman, A., Guariento, R., & Esteves, F. A. (2008). *Aquatic Macrophytes in the Tropics: Ecology of Populations and Communities, Impacts of Invasions and Use by Man*. Paraná: UNESCO. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/236586756\\_AQUATIC\\_MACROPHYTES\\_IN\\_THE\\_TROPICS\\_ECOLOGY\\_OF\\_POPULATIONS\\_AND\\_COMMUNITIES\\_IMPACTS\\_OF\\_INVASIONS\\_AND\\_USE\\_BY\\_MAN](https://www.researchgate.net/publication/236586756_AQUATIC_MACROPHYTES_IN_THE_TROPICS_ECOLOGY_OF_POPULATIONS_AND_COMMUNITIES_IMPACTS_OF_INVASIONS_AND_USE_BY_MAN)

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este capítulo abarca las conclusiones a las que se han llegado con respecto a los resultados obtenidos y las recomendaciones con base en el trabajo realizado.

#### 5.1. Conclusiones

- Las especies seleccionadas para validar la técnica de ADN ambiental fueron *Bacopa monnieri* y *Lemna minor* con un valor de similitud del 100% entre la muestra secuenciada y la secuencia de ADN de las plantas objetivo. Estas especies son un aporte a la base de datos a nivel molecular a través de la plataforma NCBI.
- El lago Yahuarcocha cuenta con una diversidad media en cuanto al componente vegetal acuático con un total de 17 especies, dividido en 16 géneros y 15 familias. Las especies dominantes son *Eichhornia crassipes* y *Schoenoplectus californicus*. Además, es menester mencionar que las especies de hábito sumergido han desaparecido en su estado natural, contando solo con la presencia de *Egeria densa* dentro de esteras flotantes.
- El cambio de cobertura de vegetación acuática dentro del lago Yahuarcocha ha variado dentro del periodo 2011-2020 con un aumento de 6,7 ha en un lapso de 9 años, según la comparación de las ortofotos destinadas a este estudio. Los cambios consecuentes que se han producido dentro del área de estudio son un indicador de la dinámica constante dentro del lago. Esto se debe a que la presencia o ausencia de algunas especies como un indicador de alteraciones en la calidad del agua.
- Como producto final se obtuvo una guía de las especies de macrófitas presentes en el lago Yahuarcocha, acoplando la descripción de cada espécimen con la adición de gráficos que ayudaron al fácil reconocimiento en campo, ofreciendo una herramienta de fácil manejo y entendimiento.

## **5.2. Recomendaciones**

- Es importante contar con un control positivo para el uso de la técnica de ADN ambiental, con el fin de asegurarse de la viabilidad de los cebadores utilizados y la correcta detección de las especies objetivo.
- Comparar la efectividad de la metodología aplicada en cuanto a la detección por la técnica de ADN ambiental en otros cuerpos de agua con otras especies e indagar en otras aplicaciones con el fin de generar estudios más completos y de mayor alcance.
- Realizar un monitoreo continuo de la diversidad de flora del lago Yahuarcocha, así como también de su cobertura dentro del cuerpo lacustre, tomando en cuenta los cambios que se han reportado en los últimos años y poder establecer el estado de las comunidades biológicas y asociar los posibles cambios del ecosistema.

## REFERENCIAS

- Acosta, L., y Agüero, R. (2006). Malezas Acuáticas como Componentes del Ecosistema. *Agronomía Mesoamericana*, 213-219. doi:10.15517/am.v17i2.5162
- Agut, A. (2012). Estudio sobre el impacto ecológico de *Azolla filiculoides* y la eficacia de los métodos físicos de control y erradicación como medida de gestión de las poblaciones de esta especie en los ecosistemas acuáticos del municipio Victoria-Gasteiz (Fase 1). En A. Agut, *Memoria justificativa del "Programa de investigación sobre los impactos generados por especies invasoras en los medios acuáticos del término municipal de Victoria-Gasteiz y ensayos de efectividad de diferentes métodos de erradicación y control"*. (págs. 1-17). Vitoria: Departamento de Medio Ambiente del Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz. Obtenido de [https://www.uragentzia.euskadi.eus/contenidos/documentacion/2012\\_cea\\_invasoras/eu\\_def/adjuntos/Anexo%20I%20completo.pdf](https://www.uragentzia.euskadi.eus/contenidos/documentacion/2012_cea_invasoras/eu_def/adjuntos/Anexo%20I%20completo.pdf)
- Alejos, L., Aragón, M., y Cornejo, A. (2014). Extracción y Purificación de ADN. En A. Cornejo, A. Serrato, B. Rendón, y M. Rocha, *Herramientas Moleculares Aplicadas en la Ecología: Aspectos Teóricos y Prácticos* (págs. 1-25). Iztapalapa: SEMARNAT. doi: 978-607-8246-72-4
- Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Mendoza, H., . . . Villareal, H. (2004). *Métodos para el análisis de datos: una aplicación para resultados provenientes de caracterizaciones de biodiversidad*. Bogota: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. Obtenido de <http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/31419/63.pdf>
- Arocena, R., y Conde, D. (2016). *Principios y Métodos de Limnología* (Vol. 2). Montevideo: DIRAC.
- Bauddh, K., Singh, K., Singh, B., y Singh, R. (2015). *Ricinus communis*: A robust plant for bio-energy and phytoremediation of toxic metals from contaminated

- soil. *Ecological Engineering*, 640-652.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.09.038>
- Beng, K., y Corlett, R. (2020). Applications of environmental DNA (eDNA) in ecology and conservation: opportunities, challenges and prospects. *Biodiversity and Conservation*. doi:[https://doi.org/10.1007/s10531-020-01980-0\(0123456789\(\).,-volV\)\(012345678](https://doi.org/10.1007/s10531-020-01980-0(0123456789().,-volV)(012345678)
- Bohmann, K., Evans, A., Gilbert, M. T., Carvalho, G. L., Creer, S., Knapp, M., . . . Bruyn, M. d. (2014). Environmental DNA for wildlife biology and biodiversity monitoring. *Trends in Ecology & Evolution*, 358-367.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.tree.2014.04.003>
- Borja, C., Florín, M., y Camacho, A. (2011). *Evaluación de los ecosistemas del milenio de España*. Madrid: Universidad de Sevilla, Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional.
- Casallas, J., y Gunkel, G. (2001). Algunos aspectos limnológicos de un lago altoandino: el lago San Pablo, Ecuador. *Limnetica*, 215-232. Obtenido de <http://www.limnetica.net/documentos/limnetica/limnetica-20-2-p-215.pdf>
- Cirugano, S., Cambra, J., y Gutierrez, C. (2005). *Métodología para el establecimiento del estado ecológico según la directiva marco del agua en la Confederación Hidrográfica del Ebro*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente de España.
- Constitución de la República del Ecuador. (2018). *Constitución de la República del Ecuador*.
- Cuenca, N., y Carrión, L. (2009). *Bioensayo con Macrofitas acuáticas para el tratamiento de lixiviados procedentes del relleno sanitario de Pichacay*. Cuenca: Universidad del Azuay. Obtenido de <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/2982/1/07569.pdf>
- Doi, H., Akamatsu, Y., Goto, M., Inui, R., Komuro, T., Nagano, M., & Minamoto, T. (2020). Species invasions are a critical issue for conserving macrophyte and the relationship between DNA concentration and coverage in rivers. *Springer Nature*, 507-520. doi:[https://doi.org/10.1007/s10530-020-02380-9\(0123456789\(\).,-volV\)\(01234567](https://doi.org/10.1007/s10530-020-02380-9(0123456789().,-volV)(01234567)

- EcoCiencia . (2009). *Identificación de Acciones Prioritarias para la Conservación de los Humedales Ecuatorianos*. Quito : ABYA YALA.
- Fedón, I. (2012). Catálogo comentado del género *Cyperus* L. (Cyperaceae) en Venezuela. *ANARTIA*, 9-73. Obtenido de <http://bdigital.ula.ve/storage/pdf/anartia/n24/art02.pdf>
- Fischer, G., y Melgarejo, L. M. (2014). Ecofisiología de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). En D. Moreno, *Uchuva (Physalis peruviana L.) Fruta andina para el mundo* (págs. 28-29). Murcia: Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo - CYTED. Obtenido de [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/69999305/Physalis\\_Peruviana\\_L\\_Fruta\\_andina\\_para\\_20210920-6864-1jq5i33.pdf?1632156166=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DPhysalis\\_Peruviana\\_L\\_Fruta\\_andina\\_para\\_e.pdf&Expires=1674779937&Signature=WY7Xbm](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/69999305/Physalis_Peruviana_L_Fruta_andina_para_20210920-6864-1jq5i33.pdf?1632156166=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DPhysalis_Peruviana_L_Fruta_andina_para_e.pdf&Expires=1674779937&Signature=WY7Xbm)
- Gallego, D. (2015). *Caracterización de las Macrófitas del humedal meandro del Say como insumo de las herramientas de conservación*. Bogotá: Universidad Santo Tomas. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11634/2543>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra. (2015). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Ibarra 2015-2023*. Ibarra: Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra. Retrieved from [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdocumentofinal/1060000260001\\_PD%20Y%20OT%20IBARRA%20UNIFICADO%20004\\_13-03-2015\\_17-34-44.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1060000260001_PD%20Y%20OT%20IBARRA%20UNIFICADO%20004_13-03-2015_17-34-44.pdf)
- Gómez, J. C. (2005). *Límnologia: Capítulo 2*. Guayaquil: Repositorio Escuela Superior Politecnica del Litoral.
- Grajales, K. (2014). *Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes*. Michoacán: Instituto de Ecología A.C. Obtenido de <http://inecolbajio.inecol.mx/floradelbajio/documentos/fasciculos/ordinarios/Azollaceae%20185.pdf>

- Herder, J., Valentini, A., Bellemain, E., Dejean, T., Delft, J. v., Thomsen, P. F., y Taberlet, e. (2014). *environmental DNA a review of the possible applications for the detection of (invasive) species*. Nimega: RAVON.
- Heynes, S., Gonzales, S., Martha Gonzáles, L. R., & López, L. (2017). *La biodiversidad en Durango*. Durango: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Huerta, A. (2020). *Aplicaciones de las Técnicas de ADN Ambiental en Ciencias Ambientales*. Cádiz: Universidad de Cádiz.
- Izurieta, R., Campaña, A., Calles, J., Estévez, E., y Ochoa, T. (2019). Calidad del Agua en Ecuador. In I. L. Ciencias, *Calidad del Agua en las Americas Riesgos y Oportunidades* (pp. 284-306). Ciudad de Mexico: IANAS. doi:978-607-8379-33-0
- Josse, C. (2001). *La biodiversidad del Ecuador: informe 2000*. Quito: Ministerio del Ambiente; EcoCiencia; UICN. doi: 9978-41-620-X
- KAPA Biosystems. (2022). *Kapabio Systems*. Obtenido de Kapabio Systems: <https://kapabiosystems.com/home/>
- Keddy, P. (1976). Lakes as Islands: The Distributional Ecology of Two Aquatic Plants, *Lemna Minor L.* and *L. Trisulca L.* *ESA Ecology*, 353-359. doi:<https://doi.org/10.2307/1934824>
- Khatun, R., Rahman, O., y Sultana, S. (2010). *Hydrocotyle verticillata* Thunb. (Apiaceae) - A New Angiospermic Record for Bangladesh. *Bangladesh J. Plant Taxon*, 105-108. Obtenido de <https://www.banglajol.info/index.php/BJPT/article/view/5398/4229>
- Knieskern, J., y Rausher, M. (2006). Environmental variation mediates the deleterious effects of *Coleosporium ipomoeae* on *Ipomoea purpurea*. *ESA Ecology*, 675–685. doi: <https://doi.org/10.1890/05-1327>
- Lambert, A., Dudley, T., y Saltonstall, K. (2017). Ecology and Impacts of the Large-Statured Invasive Grasses *Arundo donax* and *Phragmites australis* in North America. *Invasive Plant Science and Management*, 489-494. doi:<http://dx.doi.org/10.1614/IPSM-D-10-00031.1>

- Lange, P. d., Gardner, R., Champion, P., y Tanner, C. (1998). *Schoenoplectus californicus* (Cyperaceae) in New Zealand. *New Zealand Journal of Botany*, 319-327. doi:10.1080/0028825X.1998.9512573
- Lim, R., Yee, A., Ng, X. Y., y Tan, H. (2014). Whorled Pennywort, *Hydrocotyle Verticillata* Thunb. (Araliaceae), A New Record Of A Casual Aquatic Macrophyte In Singapore. *Nature in Singapore*, 79-91. Obtenido de <https://lkcnhm.nus.edu.sg/wp-content/uploads/sites/10/app/uploads/2017/06/2014nis079-091.pdf>
- Maridueña, A., Norma Chálen, D. C., Cajas, J., Elías, E., Solis-Coello, P., Aguilar, F., . . . Revelo, W. (2011). *Mortandad De Peces En La Laguna De Yahuarcocha, Cantón Ibarra, Provincia De Imbabura*. Ibarra.
- Ministerio de Ambiente . (2015). *Ministerio del Ambiente*. Obtenido de Humedales del Ecuador: <http://suia.ambiente.gob.ec/web/humedales/yahuarcocha>
- Ministerio de Ambiente y Agua. (2019). *Reglamento al Código Orgánico del Ambiente*. Quito.
- Ministerio del Ambiente de Ecuador. (2010). *Cuarto Informe Nacional para el Convenio sobre la Diversidad Biológica*. Quito: Ministerio del Ambiente de Ecuador. doi:978-9978-92-823-3
- Moreta, J. (2008). *La eutrofización de los lagos y sus consecuencias*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/720/2/06%20NUT%20099%20TESIS.pdf>
- Mostacedo, B., y Fredericksen, T. (2000). *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal*. Santa Cruz de la Sierra: El País. Obtenido de <http://www.bio-nica.info/biblioteca/mostacedo2000ecologiavegetal.pdf>
- Muyzer, G., Waal, E. C., y Uitterlinden, A. G. (1993). Profiling of complex microbial populations by denaturing gradient gel electrophoresis analysis of polymerase chain reaction-amplified genes coding for 16S rRNA. *Appl Environ Microbiol*, 695-700. Obtenido de <https://aem.asm.org/content/59/3/695.short>

- Novoa, J. (2019). *Caracterización taxonómica y molecular de las especies de microalgas presentes en el lago Yahuarcocha para su potencial uso comercial*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- ONU. (1992). *Convenio sobre la Diversidad Biológica*.
- Ortega, S., y Dieguez, J. (2016). Especies invasoras: un peligro para la biodiversidad. *FICAYA Emprende*. Obtenido de <http://www.utn.edu.ec/ficayaemprende/?p=917&print=print#:~:text=En%20el%20a%C3%B1o%202002%20el,da%C3%B1os%20a%20la%20salud%20humana%E2%80%9D>.
- Pabón, J. (2015). *Distribucion y evaluación de la vegetación macrófita en el lago Yahuarcocha, provincia de Imbabura*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/6943/2/03%20RNR%20210%20ARTICULO.pdf>
- Pierce, S., Pezeshki, S., Larsen, D., y Moore, M. (2009). Hydrology and species-specific effects of *Bacopa monnieri* and *Leersia oryzoides* on soil and water chemistry. *Ecohydrology*, 279–286. doi:10.1002/eco.54
- Pieterse, A., Delange, L., y Verhagen, L. (1981). A study on certain aspects of speed germination and growth of *Pistia stratiotes* L. *Acta Botánica Neerlandica*, 47-57. doi:10.1111/j.1438-8677.1981.tb00386.x
- Pompeo, M. (2008). Monitoramento e manejo de macrófitas acuáticas. *Oecología Brasiliensis*. doi: ISSN-e 1981-9366
- Portilla, K. (2015). *Evaluación del comportamiento de los parámetros físicos del agua, para determinar el estado trófico del lago Yahuarcocha, provincia Imbabura*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- Prada, J., Ordúz, L., y Coy-Barrera, E. (2016). *Baccharis latifolia*: una Asteraceae poco valorada con potencialidad química y biológica en el neotrópico. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 92-105. doi: <https://doi.org/10.18359/rfcb.1858>
- Rejmánková, E. (2011). The role of macrophytes in wetland ecosystems. *JEFB: Journal of Ecology and Field Biology*, 333-345. doi:10.5141 / JEFB.2011.044

- Reyes, L. (2018). *ADN Ambiental (eDNA) como Método de Evaluación de Diversidad en Ecosistemas Acuáticos*. Bogota: Universidad de los Andes. Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/39537/u821658.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Riascos, L. (2017). *Detección de la especie invasora Procambarus clarkii (cangrejo de río) en el lago Yahuarcocha de la ciudad de Ibarra mediante el uso del ADN ambiental*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- Riascos, L. (2017). *Detección de la especie invasora Procambarus clarkii (cangrejo de río) en el lago Yahuarcocha de la ciudad de Ibarra mediante el uso del ADN ambiental*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- Riascos, L., Geerts, A., Ona, T., Goethals, P., Cevallos-Cevallos, J., Berghe, W. V., . . . heyden, C. V. (2018). DNA-based monitoring of the alien invasive North American crayfish *Procambarus clarkii* in Andean lakes (Ecuador). *Limnologica*, 20-25. doi:<https://doi.org/10.1016/j.limno.2018.02.002>
- Rodríguez, M. P., Principe, R. E., Márquez, J. A., y Raffaini, G. B. (2017). Diversidad de macroinvertebrados fitófilos en arroyos de cabecera en pastizales de altura en Córdoba, Argentina. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 853-859. doi:1870-3453
- Ruiz, V., y Herrera, R. S. (2013). Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Miraflores Moropotente Nicaragua, 1993-2011. *Ecosistemas*, 117-123. doi:<https://doi.org/10.7818/ECOS.814>
- Santana, G., Mendoza, M., Salinas, V., Pérez, D., Martínez, Y., y Aburto, I. (2014). Análisis preliminar de la diversidad y estructura arbórea-arbustiva del bosque mesófilo en el Sistema Volcánico Transversal de Michoacán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 1104-1116. doi:<https://doi.org/10.7550/rmb.41519>
- Secretaría de la Convención de Ramsar. (2006). *Manual de la Convención de Ramsar, 4a. edición*. Gland: Secretaría de la Convención de Ramsar.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2021). *Plan Nacional de Creación de Oportunidades 2021-2025*. Quito: Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. Obtenido de

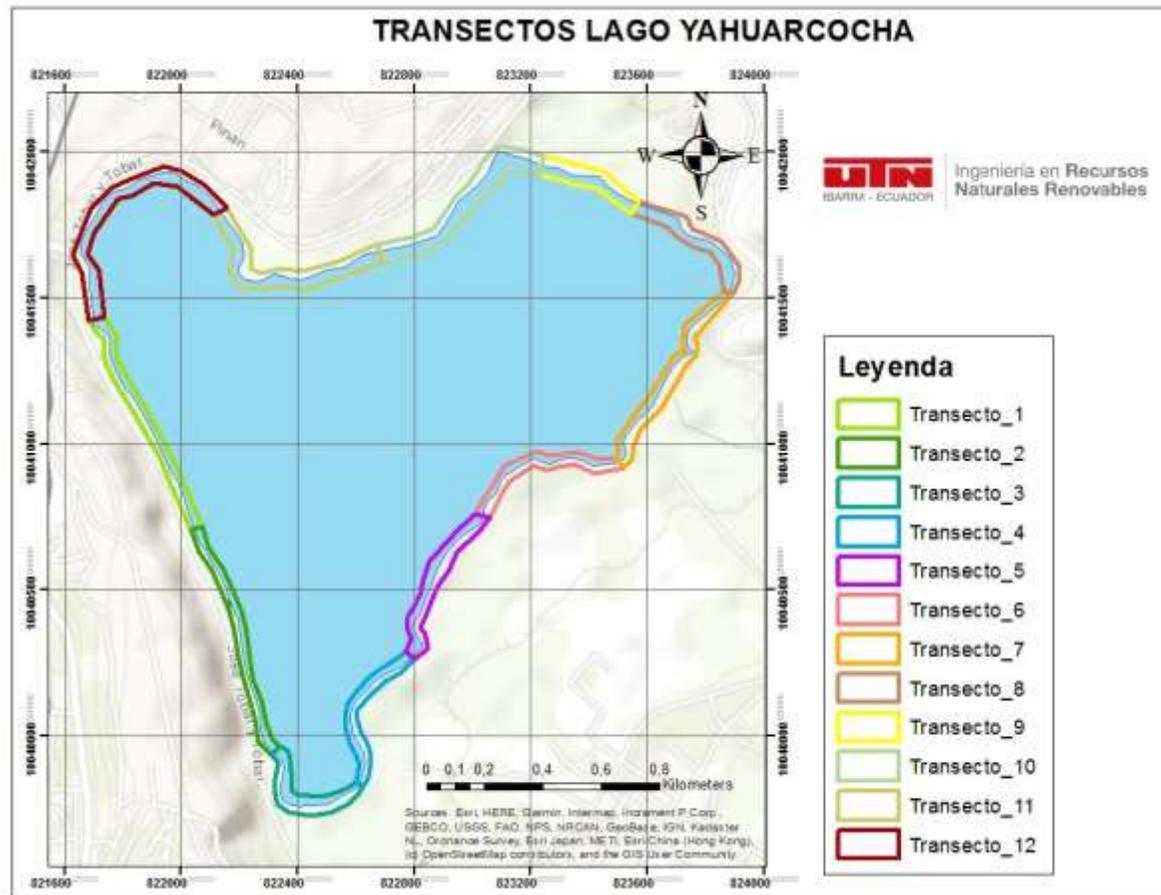
[https://observatorioplanificacion.cepal.org/sites/default/files/plan/files/Plan-de-Creaci%C3%B3n-de-Oportunidades-2021-2025-Aprobado\\_compressed.pdf](https://observatorioplanificacion.cepal.org/sites/default/files/plan/files/Plan-de-Creaci%C3%B3n-de-Oportunidades-2021-2025-Aprobado_compressed.pdf)

- Senevirathna, K., Crisfield, V., Burg, T., y Laird, R. (2021). Hide and Seek: Molecular barcoding clarifies the distribution of two cryptic duckweed species across Alberta. *Canadian Science Publishing*, 1-18. doi:<https://doi.org/10.1139/cjb-2021-0058>
- Serag, M. (2003). Ecology and biomass production of *Cyperus papyrus* L. on the Nile bank at Damietta, Egypt. *Journal of Mediterranean Ecology*, 15-24. Obtenido de <http://www.jmecology.com/wp-content/uploads/2014/03/03serag.pdf>
- Sultan, S., Wilczek, A., Bell, D., y Hand, G. (1998). Physiological response to complex environments in annual *Polygonum* species of contrasting ecological breadth. *Oecologia*, 564–578. doi: SE Sultán; AM Wilczek; Campana DL; G. Mano (1998). Respuesta fisiológica a ambientes compl10.1007/s004420050554
- Taberlet, P., Coissac, E., Hajibabaei, M., y Rieseberg, L. H. (2012). Environmental DNA. *Molecular Ecology*, 1789-1793. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2012.05542.x>
- Terneus, E. (2002). Comunidades de plantas acuáticas en lagunas de los páramos del norte y sur del Ecuador. *Cadasia*, 379-391. doi:10.15446/caldasia
- Terneus, E. (2014). Vegetación acuática y estado trófico de las lagunas andinas de San Pablo y Yahuarcocha, provincia de Imbabura, Ecuador. *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas*, 121-131. doi:10.26807/remcb.v35i1-2.255
- Thomaz, S., Murphy, K., Santos, A. M., Caliman, A., Guariento, R., y Esteves, F. A. (2008). *Aquatic Macrophytes in the Tropics: Ecology of Populations and Communities, Impacts of Invasions and Use by Man*. Paraná: UNESCO. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/236586756\\_AQUATIC\\_MACROPHYTES\\_IN\\_THE\\_TROPICS\\_ECOLOGY\\_OF\\_POPULATIONS\\_AND\\_COMMUNITIES\\_IMPACTS\\_OF\\_INVASIONS\\_AND\\_USE\\_BY\\_MAN](https://www.researchgate.net/publication/236586756_AQUATIC_MACROPHYTES_IN_THE_TROPICS_ECOLOGY_OF_POPULATIONS_AND_COMMUNITIES_IMPACTS_OF_INVASIONS_AND_USE_BY_MAN)

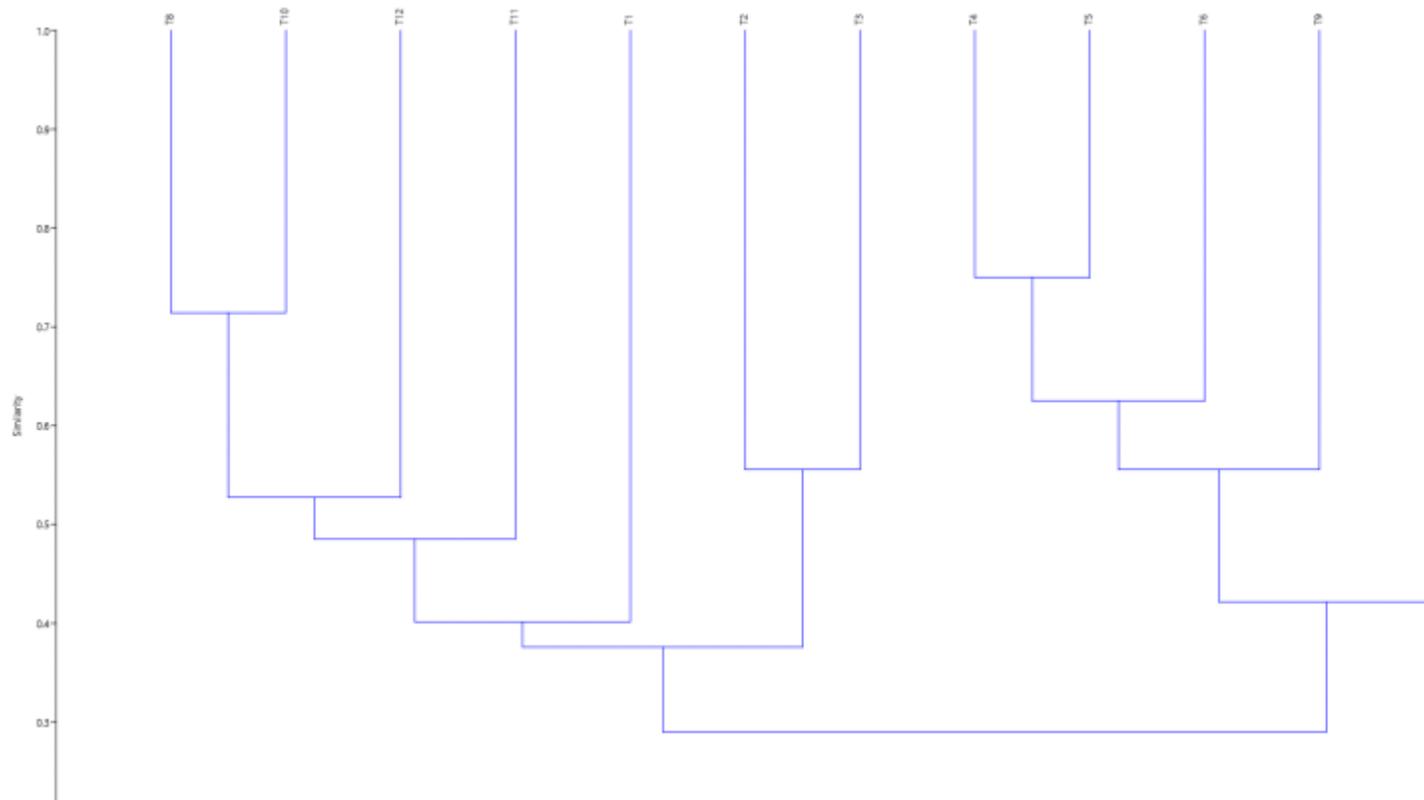
- Uchii, K., Doi, H., y Minamoto, T. (2016). A novel environmental DNA approach to quantify the cryptic invasion of non-native genotypes. *Molecular Ecology Resources*, 415-422. doi:10.1111/1755-0998.12460
- Urrutia, J., Marticorena, A., y Sanchez, P. (2017). *Typha latifolia* L. (Typhaceae), nuevo registro para la flora de Chile. *Gayana Bot*, 299-301. Obtenido de <https://www.scielo.cl/pdf/gbot/v74n2/0717-6643-gbot-74-02-00299.pdf>
- Velásquez, E. B. (2014). *La biodiversidad en el Ecuador*. Cuenca: Editorial Universitaria Abya-Yala. doi:978-9978-10-168-1
- Villamagna, M., y Murphy, B. (2010). Ecological and socio-economic impacts of invasive water hyacinth (*Eichhornia crassipes*): a review. *Freshwater Biology*, 282–298. doi:10.1111/j.1365-2427.2009.02294.x
- Xiong, W., Zhu, S., Zhu, J., Yang, L., Du, S., Wu, Y., . . . Bowler, P. (2021). Distribution and impacts of invasive parrot's feather (*Myriophyllum aquaticum*) in China. *BioInvasions Records*, 796-804. doi:<https://doi.org/10.3391/bir.2021.10.4.04>
- Yadav, A. A., Chaudhary, A., y Ahmad, A. (2012). Development of sequence characterized amplified region (SCAR) marker for the authentication of *Bacopa monnieri* (L.) Wettst. *European Journal of Medicinal Plants*, 186-198. doi:10.9734/EJMP/2012/1192

## ANEXOS

### Anexo 1: Transectos de muestro en campo



**Anexo 2.** Dendrograma del índice de Jaccard entre transectos



**Anexo 3: Registro de la secuencia en la plataforma del NCBI**

The screenshot shows the NCBI BLAST search results for the sequence JQ429286.1. The search was performed using the 'Blast\_2seq' program. The results table shows one significant alignment with the sequence 'Bacopa\_monnierii' from the 'GenBank' database. The alignment score is 46.4, and the E-value is 7e-10. The alignment length is 340 nucleotides.

Accession	Score	Expect	Identical	Positives	Gap	Length	Initialed
Bacopa_monnierii:JQ429286.1	46.4	7e-10	100%	100%	0	340	JQ429286.1

The screenshot shows the GenBank record for the sequence JQ429286.1. The record is titled 'Bacopa monnieri SCAR marcador bac01 secuencia genómica'. The record includes the following information:

- LOCUS JQ429286 589 pb ADN lineal PLN 13-MAY-2012
- DEFINICIÓN Secuencia genómica bac01 del marcador SCAR de Bacopa monnieri.
- ADHESIÓN JQ429286
- VERSIÓN JQ429286.1
- PALABRAS CLAVE -
- FUENTE Bacopa monnieri
- ORGANISMO: *Bacopa monnieri*

The record also includes a list of taxonomic terms: eucariota; viridiplantae; streptofita; embriofita; traqueofita; espermatofita; magnoliopsida; eudicotiledóneas; artileros; pentapétalos; asteridos; lamiales; plantagináceas; Gratiolaceae; Bacopa.