UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS

PROPUESTA PARA EL MANEJO Y CONTROL DEL JACINTO DE AGUA (*Eichhornia crassipes*) EN EL LAGO SUCHITLÁN, EL SALVADOR

PRESENTADO POR:

CHICAS BAÑOS, SOFÍA BEATRIZ

MELARA HERNÁNDEZ, ANDREA ALEJANDRA

PÉREZ FIGUEROA, MAYRA ALEJANDRA

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

Febrero 2021

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

Msc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

Ing. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

PhD. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

SECRETARIO :

Ing. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS

DIRECTORA:

Inga. SARA ELISABETH ORELLANA BERRÍOS

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO QUÍMICO

Título :

PROPUESTA PARA EL MANEJO Y CONTROL DEL JACINTO DE AGUA (*Eichhornia crassipes*) EN EL LAGO SUCHITLÁN, EL SALVADOR

PRESENTADO POR:

CHICAS BAÑOS, SOFÍA BEATRIZ

MELARA HERNÁNDEZ, ANDREA ALEJANDRA

PÉREZ FIGUEROA, MAYRA ALEJANDRA

Trabajo de Graduación Aprobado por :

Docente Asesora :

Inga. EUGENIA SALVADORA GAMERO DE AYALA

SAN SALVADOR, FEBRERO 2021

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesora:

Inga. EUGENIA SALVADORA GAMERO DE AYALA

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por darnos la vida, salud y la oportunidad de culminar esta etapa de la vida y llegar hasta este momento tan importante.

Agradecemos especialmente a nuestra asesora, **Ing. Eugenia Gamero** por su tiempo, guía y dedicación durante todo este proceso de graduación y a lo largo de la carrera.

Gracias, **Ing. Delmy Rico**, por su guía y compromiso desinteresado y por brindarnos las herramientas necesarias que nos convierten en profesionales capaces.

A Ing. Cecy de Flamenco, por brindarnos los conocimientos y las herramientas necesarias en nuestra preparación profesional, por su apoyo y guía.

A ing. Marisela Saravia, por compartir sus valiosos conocimientos y experiencias que nos permitieron culminar esta etapa.

Agradecemos profundamente a todos los demás docentes y personal administrativo de la Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos que estuvieron presentes en cada etapa de crecimiento y formación profesional. Gracias por compartir desinteresadamente sus experiencias y conocimientos, que nos permitieron culminar esta etapa satisfactoriamente y sentirnos orgullosos de nuestra facultad y alma mater.

SOFIA BEATRIZ CHICAS BAÑOS

DEDICATORIA

Agradezco a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. Gracias por todas tus bendiciones.

A mi familia, quienes me dan la fuerza para seguir avanzando y creciendo. A mis padres por convertirme en la mujer que soy, llena de valores, fuerte, luchadora y capaz; por su apoyo en cada etapa de mi vida y durante todo este tiempo. Agradezco infinitamente a Diego y Pablo, por enseñarme con su ejemplo a no rendirme y perseverar para lograr mis sueños, por enseñarme a que cada etapa se disfruta y se aprende. A mi abuelita, por sus buenos deseos y consejos, por tenerme en sus oraciones cada día.

A Rodrigo, por su amor y apoyo incondicional en esta etapa de transición, por impulsarme y alentarme a ser mejor y trazarme metas cada vez más altas.

A Mayra y a Andrea, gradezco principalmente por su amistad, paciencia y compresión. Agradezco su dedicación y compromiso durante todo este proceso.

Agradezco a nuestros docentes de la Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de alimentos, especialmente a Ing. Gamero e Ing. Rico, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de nuestra preparación profesional; gracias a cada una por su dedicación y enseñanza.

Agradezco a todas aquellas personas que han dejado marca en mi vida, a mis amigos y familia en general, por estar siempre presente, ya que de una u otra forma fueron de ayuda y apoyo durante todo este tiempo. A TODOS MUCHAS GRACIAS.

“Lo que logres de pie, agradécelo de rodillas. Lo que no consigas hablando, hazlo orando.” San Juan Bosco.

ANDREA ALEJANDRA MELARA HERNÁNDEZ

DEDICATORIA

En primer lugar, **a Dios** por darme la sabiduría necesaria para continuar con mis estudios, su cuidado inmerecido y la fortaleza para vencer los obstáculos, por darme la fe y la esperanza.

A mi madre María Hernández, por sacrificarse de tal manera por sus tres hijos, brindarnos educación y lo más importante por brindarme el amor tan profundo que he sentido cada día de mi vida, gracias por permitirme elegir siempre mis caminos y estar ahí si es que alguno de ellos no ha sido el mejor, este logro es tuyo mami.

A mi hermana Isela, te agradezco por darme el amor hacia la ciencia y las matemáticas, gracias por desvelarte conmigo haciendo esas tareas de la escuela, por hacerme ver que soy una mujer capaz de realizar todo lo que me propongo, te admiro inmensamente, tu fuerza y valentía.

A mi hermano Walter, gracias por las risas y hasta por los enojos, te deseo lo mejor para tu vida y estar siempre presente en ella.

A mi Mayra, por ayudarme en mis tareas cuando no entendía algo, por hacerme compañía en todo este trayecto lleno de desvelos, estrés, Coca-Cola y café, pero también de momentos divertidos y gratificantes que siempre guardare en mi memoria, me llevo a una excelente amiga para toda la vida.

A Rafa por su cariño hacia mi persona, por su afecto y manera de ayudarme tan desinteresada, gracias por enseñarme a ser una mejor versión de mí misma y estar cuando más te he necesitado.

A mis amistades universitarias, todos ellos hicieron de la vida de estudiante una experiencia única, principalmente **Sofí**, por compartir aún desde la distancia el proceso de este trabajo y por ser una gran amiga. A nuestra asesora **Ing. Gamero** por darnos su guía y apoyo durante la elaboración del presente trabajo de tesis, así como también a todos los catedráticos que fueron esenciales en mi formación académica.

Finalmente, **a todas aquellas personas**, estén aún o no en mi camino, pero colaboraron de una u otra manera en la culminación de mis estudios universitarios. A TODOS ELLOS MUCHAS GRACIAS.

“Siempre parece imposible hasta que se hace” Nelson Mandela.

MAYRA ALEJANDRA PÉREZ FIGUEROA

DEDICATORIA

Agradezco **a Dios** por darme la sabiduría y fortaleza para llegar hasta el final de esta etapa de mi vida, por acompañarme e iluminar mi camino siempre que lo necesité.

A mis padres, por su amor y apoyo en todo momento, por todo el esfuerzo y sacrificio que han realizado para permitirme seguir adelante, porque a pesar de no siempre estar de acuerdo conmigo me permitieron tomar mis propias decisiones y elegir el camino que quiero seguir en esta vida, porque sin ellos no sería quien soy ahora, los amo inmensamente.

A mis hermanas, por su cariño y apoyo, porque a pesar de la distancia sé que siempre están para mi cuando las necesito.

A mi abuelo, mi abue, no hay palabras para describir lo agradecida que estoy con él, por todo su cariño, apoyo y motivación, por enseñarme que en esta vida hay muchas cosas que no podemos hacer solos, pero con un poco de ayuda, perseverancia y paciencia nada es imposible y a mi tío Salvador, quien siempre estuvo para mi cuando lo necesité.

A Carlos, por su apoyo y cariño incondicional durante todos estos años, por siempre motivarme a seguir y confiar en mi incluso cuando yo no lo hice, por enseñarme que a veces las cosas salen bien incluso sin planearlas, por mostrarme un mundo diferente al que conocía.

A Andrea, por su amistad, por acompañarme durante este proceso, por todos los momentos de felicidad, tristeza y frustración juntas, por nuestros días de desvelo y estudio, nuestras platicas eternas y por todas las locuras que algún día te convencí de hacer, infinitas gracias.

Agradezco a todo el personal docente que contribuyó en mi formación académica durante todos estos años, en especial a nuestra asesora **Ing. Eugenia Salvadora Gamero de Ayala** por su colaboración en este trabajo de grado.

Finalmente agradezco **a mi familia** y a todas las personas que de una u otra forma formaron parte de esta etapa de mi vida, en especial a **Sofia** quien más que una compañera de tesis se convirtió en una amiga, porque a pesar de las circunstancias y la distancia siempre estuvo ahí.

RESUMEN

La presente investigación se desarrolló con el objetivo de elaborar una propuesta para el manejo y control del jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en el lago Suchitlán. Mediante la búsqueda de información se elaboró una caracterización de la planta jacinto de agua (*E. crassipes*), se realizó una descripción de los aspectos físicos, biológicos y socioeconómicos del lago Suchitlán, y se estableció el impacto del jacinto de agua (*E. crassipes*) en el lago, en las que destacan la afectación en la navegación, desplazamiento de embarcaciones, turismo y pesca; y se analizaron los posibles métodos de control con sus ventajas y desventajas en cuanto a los efectos ambientales y a la salud humana, siendo estos control mecánico, químico y biológico; posteriormente se plantean diferentes alternativas para el aprovechamiento del jacinto de agua *(E. crassipes)* tanto a nivel internacional como a nivel nacional, incluyendo la descripción del producto, procedimiento para elaborarlo y consideraciones a tener en cuenta.

Se realizó una investigación bibliográfica de la calidad del agua del lago Suchitlán, se encontró un impacto directo del jacinto de agua *(E. crassipes)* sobre el manto acuífero en las concentraciones de oxígeno disuelto O.D. el cual es afectado directamente por la planta, el promedio de O.D. para el año de 2006 fue de 9.83 mg/ml, sufriendo una disminución en el año 2007 con un valor promedio de 8.10 mg/ml y para el 2008 con un promedio de 5.83 mg/ml. Para la determinación de la cobertura del jacinto de agua *(E. crassipes)* se utilizó el método de teledetección en el software libre QGIS lo cual permitió realizar un seguimiento de la proliferación de la planta acuática en el lago a lo largo de los años 2014 a 2020, mostrando un aumento significativo del área cubierta por la maleza acuática, como resultado de su alta densidad de crecimiento y reproducción, su capacidad reproductiva alta y la intensidad de la propagación de la planta. Se determinó el riesgo de invasividad del jacinto de agua *(E. crassipes)* de agua mediante el Método de Evaluación Rápida de Invasividad (MERI), la especie exótica no nativa presentó un resultado de invasividad 0.7875 y una categoría de riesgo muy alta, se muestran los impactos producidos, que se consideran muy significativos como se mencionó antes en el plano socioeconómico al afectar a actividades como la pesca y otros usos recreativos del medio fluvial.

En la propuesta de manejo y control del jacinto de agua *(E. crassipes)* se propuso utilizar el método de control manual y mecánico, combinado con una posible industrialización, elaborando artesanías, tableros aglomerados y generación de energía a partir de la biomasa de la planta acuática con el propósito de conservar las especies nativas y controlar la invasora para un mejor equilibrio en el ecosistema del lago Suchitlán.

INDICE DE CONTENIDO

Pág

OBJETIVOS **1**

INTRODUCCIÓN **2**

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO **3**

1.1 GENERALIDADES DEL JACINTO DE AGUA (*Eichhornia crassipes*) 3

1.1.1 Origen y distribución de la especie 4

1.1.2 Reproducción 4

1.1.3 Composición química 5

1.1.4 Desarrollo fenológico del jacinto de agua (*E. crassipes*) 6

1.2 DESCRIPCIÓN DE LOS ASPECTOS FÍSICOS, BIOLÓGICOS, SOCIOECONÓMICOS DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD ... 7

1.2.1 Área de influencia directa o indirecta 9

1.2.2 Descripción del escenario ambiental y social 9

1.3 IMPACTO DEL JACINTO DE AGUA (*E. crassipes*) EN EL LAGO SUCHITLÁN 21

1.3.1 Biomasa del jacinto de agua (*E. crassipes*) en el cuerpo de agua 21

1.3.2 Uso que la fauna acuática hace del jacinto de agua (*E. crassipes*).... 21

1.3.3 Impacto del jacinto del agua (*E. crassipes*) en la actividad de las comunidades locales 24

1.4 INVASIVIDAD DEL JACINTO DE AGUA *(E. crassipes*) 25

1.4.1 Método de Evaluación Rápida de Invasividad (MERI) 26

1.5 FACTORES DE INFLUENCIA DE CRECIMIENTO DEL JACINTO DE AGUA (*E. crassipes*) 29

1.5.1 Factores Ambientales (Mella, 2005) 29

1.5.2 Factores Bioquímicos 30

1.6 MÉTODOS DE CONTROL DE JACINTO DE AGUA (*E. crassipes*) 30

INDICE DE CONTENIDO

Pág

1.6.1 Remoción mecánica 31
1.6.2 Remoción química 34
1.6.3 Remoción biológica 39

1.7 MÉTODOS DE MANEJO DEL JACINTO DE AGUA (*E. crassipes*) 41
1.7.1 Alternativas del uso del jacinto de agua (*E. crassipes*) 41

CAPITULO II: CARACTERIZACIÓN DEL LAGO SUCHITLAN 74

2.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICO, QUÍMICA Y BIOLÓGICA DEL LAGO SUCHITLAN 74
2.1.1 Cloruros 77
2.1.2 Color Aparente 77
2.1.3 Conductividad 77
2.1.4 Demanda Química de Oxigeno (DQO) 77
2.1.5 Potencial de Hidrógeno, pH 78
2.1.6 Turbidez 78
2.1.7 Oxígeno Disuelto 79
2.1.8 Sodio 79
2.1.9 Solidos Disueltos Totales 79
2.1.10 Sulfatos 79
2.1.11 Fenoles 80

2.2 COBERTURA DE LA MALEZA ACUÁTICA DENTRO DEL LAGO SUCHITLÁN UTILIZANDO TELEDETECCIÓN 80
2.2.1 Índices de Vegetación 81
2.2.2 Metodología 83
2.2.3 Resultados Obtenidos 84
2.2.4 Análisis de Resultados 93

INDICE DE CONTENIDO

Pág

2.3 MÉTODO DE EVALUACIÓN RÁPIDA DE INVASIVIDAD (MERI) PARA LA ESPECIE *Eichhornia crassipes* 94

CAPITULO III: PROPUESTA PARA EL MANEJO Y CONTROL DE JACINTO DE AGUA *(E. crassipes)* EN EL LAGO SUCHITLAN ... 104

3.1 ACTIVIDADES DE CONTROL DE JACINTO DE AGUA (*E. CRASSIPES*) EN EL LAGO SUCHITLÁN 104

3.1.1 Método Manual 107

3.1.2 Método Mecánico..... 109

3.2 ACTIVIDADES DE MANEJO DEL JACINTO DE AGUA *(E. CRASSIPES)* DEL LAGO SUCHITLÁN, EL SALVADOR..... 110

3.2.1 Ventajas y desventajas de los diferentes aprovechamientos de jacinto de agua (E. crassipes) 110

3.2.2 Alternativas para el manejo del jacinto de agua *(E. crassipes)* del lago Suchitlan 116

CONCLUSIONES 125

RECOMENDACIONES 127

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 128

ANEXOS ……...……144

Anexo A 145

Anexo B 176

Anexo C 177

INDICE DE TABLAS

Figura	Descripción	Pág
Tabla 1.1	Análisis químico del de agua (*E. crassipes*)	5
Tabla 1.2.	Concentraciones definitivas de Cr, Cu, Pb y Hg en muestras de jacinto de agua *(E. crassipes)*, expresadas en (µg de elemento/g de muestra) en base seca	5
Tabla 1.3	Afluentes del Embalse Cerrón Grande	10
Tabla 1.4	Clasificación de riesgo de invasividad de acuerdo con el valor obtenido en el MERI	26
Tabla 1.5	Valores de incertidumbre que se deben asignar a cada pregunta dependiendo de la fuente de información asociada.	28
Tabla 1.6	Composición química del biogás	54
Tabla 2.1	Parámetros fisicoquímicos del Embalse Cerrón Grande	76
Tabla 2.2	Área y porcentaje de cubertura de agua y maleza acuática sana y enferma en el lago de Suchitlán, calculado con método de teledetección en QGIS	93
Tabla 2.3	Características biológicas y ecológicas que favorecen el potencial invasivo de las plantas potencialmente invasivas en la ciénaga Santo Tomas, Colombia.	97
Tabla 3.1	Ventajas y Desventajas de los métodos de control para la maleza acuática.	104
Tabla 3.2	Información General para el Control Manual de jacinto de agua *(E. crassipes)*	108
Tabla 3.3	Ventajas y Desventajas de las alternativas de aprovechamiento del jacinto de agua (*E. crassipes)*	110

INDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	Pág
Figura 1.1	Fotografía del jacinto de agua (*E. crassipes*) en el lago Suchitlán, 2019.	3
Figura 1.2	Distribución mundial de jacinto de agua (*E. crassipes*).	4
Figura 1.3	Plantas de jacinto de agua (E. crassipes) con (A) pecíolos delgados y (B) con pecíolos globosos.	6
Figura 1.4	Humedal Embalse Cerrón Grande, con su límite territorial de sitio RAMSAR. Enero de 2017.	8
Figura 1.5	Nivel de pH ácido en las zonas del Embalse Cerrón Grande	13
Figura 1.6	Nivel de oxígeno disuelto en las zonas del Embalse Cerrón Grande	13
Figura 1.7	Nivel de pH alcalino en las zonas del Embalse Cerrón Grande	14
Figura 1.8	Nivel de coliformes totales en las zonas del Embalse Cerrón Grande	14
Figura 1.9	Nivel de conductividad en las zonas del Embalse Cerrón Grande.	15
Figura 1.10	Mapa de zonas críticas afectadas por diversas actividades antropogénicas y naturales en el Embalse Cerrón Grande	22
Figura 1.11	Fotografía del jacinto de agua, (*E. crassipes*), en el Puerto San Juan, Suchitoto, noviembre 2019.	24
Figura 1.12	Esquema de representación general de las 10 preguntas que forman el Método de evaluación rápida de Invasividad.	27
Figura 1.13	Barco de corte de malezas acuáticas modelo JLGC-200.	32
Figura 1.14	Diagrama correspondiente al proceso de peletización del jacinto de agua (*E. crassipes*).	49

Figura	Descripción	Pág

Figura 2.1 Mapa de sitios muestreados en la realización de estudios de calidad de agua en el embalse Cerrón Grande 75

Figura 2.2 NDVI para el año 2014 obtenido por el método de teledetección a partir del contraste de las bandas 4 y 5 en el software libre QGIS. 84

Figura 2.3 NDVI para el año 2016 obtenido por el método de teledetección a partir del contraste de las bandas 4 y 5 en el software libre QGIS. 85

Figura 2.4 NDVI para el año 2018 obtenido por el método de teledetección a partir del contraste de las bandas 4 y 5 en el software libre QGIS. 85

Figura 2.5 NDVI para el año 2020 obtenido por el método de teledetección a partir del contraste de las bandas 4 y 5 en el software libre QGIS. 86

Figura 2.6 Curvas de nivel extraídas para el año 2014 por el método de teledetección a partir del contraste de las bandas 4 y 5 en el software libre QGIS. 86

Figura 2.7 Curvas de nivel extraídas para el año 2016 por el método de teledetección a partir del contraste de las bandas 4 y 5 en el software libre QGIS. 87

Figura 2.8 Curvas de nivel extraídas para el año 2018 por el método de teledetección a partir del contraste de las bandas 4 y 5 en el software libre QGIS. 87

Figura 2.9 Curvas de nivel extraídas para el año 2020 por el método de teledetección a partir del contraste de las bandas 4 y 5 en el software libre QGIS. 88

Figura	Descripción	Pág

Figura 2.10 Área cubierta por la maleza acuática sana en el año 2014 obtenida a partir del NDVI en QGIS. 89

Figura 2.11 Área cubierta por la maleza acuática sana en el año 2016 obtenida a partir del NDVI en QGIS. 89

Figura 2.12 Área cubierta por la maleza acuática sana en el año 2018 obtenida a partir del NDVI en QGIS. 90

Figura 2.13. Área cubierta por la maleza acuática sana en el año 2020 obtenida a partir del NDVI en QGIS. 90

Figura 2.11 Área cubierta por agua en el año 2014 obtenida a partir del NDVI en QGIS. 91

Figura 2.13 Área cubierta por agua en el año 2016 obtenida a partir del NDVI en QGIS. 91

Figura 2.15 Área cubierta por agua en el año 2018 obtenida a partir del NDVI en QGIS. 92

Figura 2.17 Área cubierta por agua en el año 2020 obtenida a partir del NDVI en QGIS. 92

Figura 2.18 Porcentaje de cobertura de agua y maleza acuática en el lago de Suchitlán, determinada con método de teledetección en QGIS. 93

Figura 2.19 Variación del porcentaje de agua y maleza acuática sana y medianamente sana 2014-2020, determinada con método de teledetección en QGIS. 94

Figura 2.20 Fotografía del jacinto de agua (*E. crassipes*) en el lago Suchitlán. 95

Figura 3.1 Artesanías elaboradas a partir de jacinto de agua (E. crassipes) en Olomega. 117

Figura 3.2 Artesanías elaboradas a partir de jacinto de agua *(E. crassipes)* en Olomega. 117

Figura	Descripción	Pág

Figura 3.3 Diagrama del proceso de elaboración de artesanías a partir del jacinto de agua (E. crassipes). 119

Figura 3.4 El bio-tablero de jacinto de agua (E. crassipes) producido con éxito..... 120

Figura 3.5 Diagrama del proceso de elaboración de tableros aglomerados a partir de jacinto de agua *(E. crassipes).* 121

Figura 3.6 Diagrama del proceso de aprovechamiento energético del jacinto de agua (E. crassipes) 123

OBJETIVOS

General

Elaborar una propuesta para el manejo y control del jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en el lago Suchitlán, El Salvador.

Específicos

i. Establecer el estado actual del lago Suchitlán desde el punto de vista social, económico y ecológico relacionado con la presencia de Jacinto de agua.
ii. Evaluar la invasividad de Jacinto de agua en el lago Suchitlán.
iii. Determinar los factores que favorecen la proliferación del Jacinto de agua en el lago Suchitlán.
iv. Determinar los impactos generados por el Jacinto de agua en el lago Suchitlán.
v. Analizar los posibles usos y disposición final del Jacinto de agua del lago Suchitlán.

INTRODUCCIÓN

El jacinto de agua *(E. crassipes)* es una planta acuática perenne que flota libremente por la superficie acuática, nativa de Sudamérica y descubierta en 1823 por C. von Martius, se caracteriza por su crecimiento modular y por formar densos bloques flotantes, posee hojas anchas, gruesas, brillantes y ovaladas, y flores lilas con puntos amarillos en los pétalos. Se introdujo en otros países como una especie ornamental, sin embargo, debido a su alta capacidad reproductiva, alta habilidad competitiva con relación a otras plantas acuáticas flotantes, adaptabilidad y resistencia a ambientes adversos llegó a catalogarse como maleza acuática flotante, cubriendo gran parte de la superficie acuática de lagos y lagunas, y presentando una amenaza para la conservación del equilibrio de las comunidades costeras aledañas al lago y del ecosistema acuático.

El lago Suchitlán o Embalse Cerrón Grande es un largo artificial que se ubica en el tramo medio del rio Lempa y fue creado con el fin de generar energía hidroeléctrica en El Salvador, constituyendo el mayor cuerpo de agua dulce del país, pero a la vez el más contaminado de este, se encuentra ubicado entre los departamentos de Chalatenango, San Salvador, Cuscatlán y Cabañas, abarcando un total de catorce municipios, fue declarado como Humedal de Importancia Internacional el 22 de Noviembre de 2005 por la Convención Ramsar. Es un humedal de gran importancia hidrológica, destacado por su papel en el control de inundaciones, depuración de aguas, y producción de energía eléctrica.

En la presente investigación se realiza una propuesta para el control y manejo del jacinto de agua *(E. crassipes)* en el lago Suchitlán en El Salvador, realizando a la vez una recopilación bibliográfica de los parámetros físicos, químicos y biológicos del agua del lago Suchitlán, una estimación de la cobertura de la planta acuática mediante el uso del software libre QGIS y la herramienta EarthExplorer del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) de la cual se toman imágenes de alta resolución del sensor óptico satelital LANDSAT para los años 2014, 2016, 2018 y 2020, y una evaluación de la invasividad del jacinto de agua *(E. crassipes)* a través del Método de Evaluación Rápida de Invasividad (MERI).

CAPÍTULO I
MARCO TEÓRICO

1.1 GENERALIDADES DEL JACINTO DE AGUA (*Eichhornia crassipes*)

El jacinto de agua (*E. crassipes*), también llamado lirio acuático, violeta de agua o buchón de agua, entre otras es una planta de la Familia Pontederiácea, Orden Commelinales, de la Clase Liliopsida (monocotiledóneas) y División Magnoliophyta (angiospermas) del Reino Plantae (Albano Pérez, 2012). Es una planta acuática perenne, de grandes hojas redondas y vistosas flores lilas con puntos amarrillos en los pétalos (Figura 1.1), que flota libremente en la superficie de las aguas de ciénagas, presas, micropresas, lagunas, zanjas, arroyos y ríos. Se caracteriza por su crecimiento modular y por formar densos bloques flotantes.

Figura 1.1 Fotografía del jacinto de agua (*E. crassipes*) en el lago Suchitlán, 2019.

1.1.1 Origen y distribución de la especie

Es una planta autóctona de Sudamérica, se originó en las Amazonas, Brasil. Fue descubierta en 1823 por C. von Martius, botánico alemán que estudiaba la flora de Brasil, y que la denomino *Pontederia crassipes.* Sesenta años más tarde, el botánico Solms la incluyó en el género *Eichhornia,* en honor al ministro prusiano, J. A. F. Eichhorn (Albano Pérez, 2012).

Posteriormente se introdujo en otros países tropicales como una especie ornamental, sin embargo, debido a su alta capacidad reproductiva, alta habilidad competitiva con relación a otras plantas acuáticas flotantes, adaptabilidad y resistencia a ambientes adversos llego a catalogarse como maleza acuática flotante, considerada entre las 100 especies exóticas invasoras más dañinas del mundo (Lowe et al, 2004), siendo una especie imposible de erradicar. Actualmente, el jacinto de agua (*E. crassipes*) se distribuye en trópicos y subtrópicos entre los 39°N y 39°S (Figura 1.2).

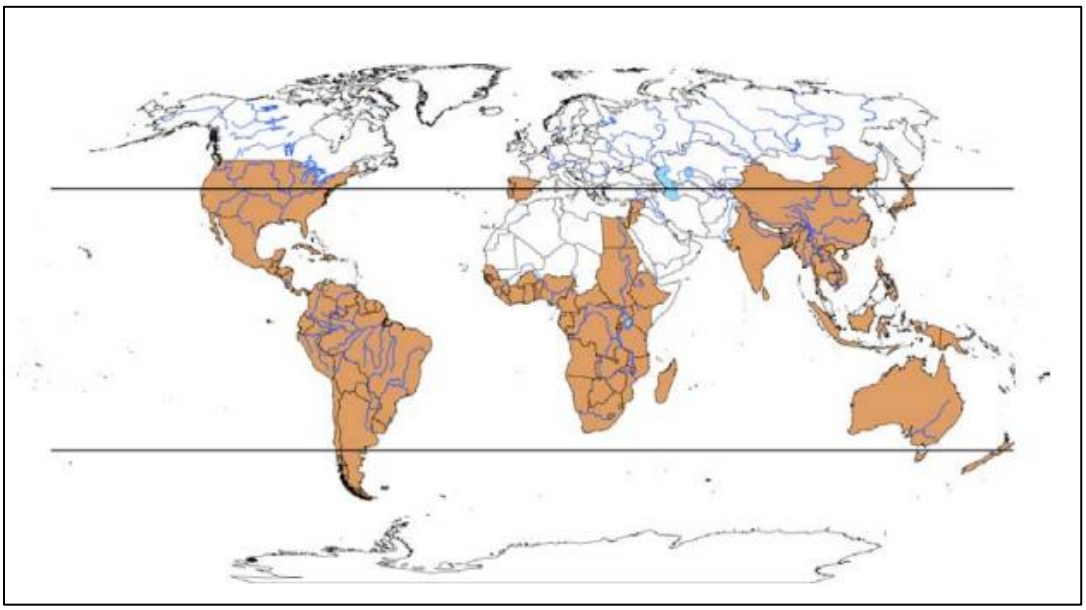

Figura 1.2 Distribución mundial de jacinto de agua (*E. crassipes*).
Fuente: Albano Pérez, (2012).

1.1.2 Reproducción

Su reproducción es sexual (a través semilla) y asexual (vegetativa). Principalmente se da por estolones, de forma vegetativa, que se desarrollan a partir de la base de la roseta. Los estolones crecen hasta 30 cm de longitud antes de desarrollar una roseta hija (Labrada, R. Caseley, J. C y Parker, C., 1996). En etapas tempranas de

colonización, las rosetas son pequeñas y crecen esparcidas. En esta misma etapa, los peciolos son cortos y crecen horizontalmente a la superficie del agua. A medida que la densidad de plantas aumenta, el tamaño de cada roseta aumenta y los peciolos son más largos y crecen perpendicularmente a la superficie del agua. Los peciolos son esponjos e inflados en el centro. Sin embargo, en etapas tardías, los peciolos anchos en el centro pueden no estar presentes. Por otro lado, también puede darse a través de semillas, con un bajo porcentaje de germinación.

1.1.3 Composición química

El jacinto de agua (*E. crassipes*) está constituido por un tejido de polisacáridos estructurales como celulosa, hemicelulosa y lignina. También contiene fracciones de proteína, cenizas y fibra; posee un alto contenido en agua, entre 90 -95%, sin embargo, su composición es variable, ya que influye el medio donde crece y de las condiciones como temperatura y pH. Posee gran capacidad de concentración de minerales, según Lareo y Bresani, (1981), en 24 horas acumula las raíces el 97% del cobalto y níquel contenido en el agua, además de calcio, fosforo, sodio, magnesio, potasio y azufre.

Tabla 1.1 Análisis químico del de agua (*E. crassipes*).

Parámetros (% con base seca)	Castillo Araya (1990)	Rojas (1999)
Proteína cruda	17.0 - 22.0 %	18.10%
Fibra cruda	15.0 - 18.0 %	18.60%
Cenizas	16.0 - 18.0 %	16.60%
Celulosa	--	--
Hemicelulosa	--	--
Lignina	--	--
Fosforo	0.7 - 1.0 %	0.60%

Tabla 1.2. Concentraciones definitivas de Cr, Cu, Pb y Hg en muestras de jacinto de agua *(E. crassipes)*, expresadas en (µg de elemento/g de muestra) en base seca.

Muestra	Cr	Cu	Zn	Pb	Hg
JAR1P11	29.72 ± 4.75	31.97 ± 3.50	74.68 ± 4.00	78.91 ± 5.40	46.94 ± 7.82
JAR1P21	22.10 ± 0.00	78.95 ± 4.22	66.53 ± 6.70	40.17 ± 8.87	122.70 ± 9.13
JAR1P31	30.28 ± 9.01	57.06 ± 5.26	117.37 ± 6.51	299.76 ± 9.57	115.14 ± 15.3
JAR1P41	32.76 ± 7.64	33.74 ± 3.45	77.09 ± 5.67	18.40 ± 7.67	8.42 ± 2.79

Tabla 1.2. Concentraciones definitivas de Cr, Cu, Pb y Hg en muestras de jacinto de agua *(E. crassipes)*, expresadas en (µg de elemento/g de muestra) en base seca (Continuación)

JAR1P51	14.56 ± 3.70	40.23 ± 2.96	51.09 ± 2.71	44.94 ± 5.97	22.77 ± 6.65
JAR1P61	28.66 ± 0.00	81.03 ± 3.95	86.96 ± 8.40	12.88 ± 7.28	4.35 ± 1.47
JAR1P71	10.76 ± 3.42	31.56 ± 2.45	47.95 ± 2.45	10.74 ± 4.94	9.55 ± 3.53
JAR1P81	18.98 ± 5.49	23.48 ± 3.25	49.95 ± 5.00	10.50 ± 8.49	8.89 ± 4.15
JAR1P91	17.26 ± 0.00	25.15 ± 2.47	61.64 ± 4.44	22.30 ± 8.30	10.29 ± 3.37
JAR1P101	16.77 ± 3.75	31.78 ± 2.25	58.06 ± 2.75	9.80 ± 4.86	5.83 ± 1.89

Fuente: Cuadra Zelaya y Romero García, (2006).

En la Tabla 1.1 los autores Castillo Araya (1990) y Rojas (1999) realizaron un análisis de la composición del jacinto de agua *(E. crassipes).* Se muestra en la Tabla 1.2 el resultado de las concentraciones de metales pesados (Cr, Cu, Zn, Pb y Hg) de los análisis realizados por Cuadra Zelaya y Romero García (2006), presentes en 10 muestras de jacinto de agua *(E. crassipes)* tomadas de diferentes puntos dentro del Embalse Cerrón Grande.

1.1.4 Desarrollo fenológico del jacinto de agua (*E. crassipes*)

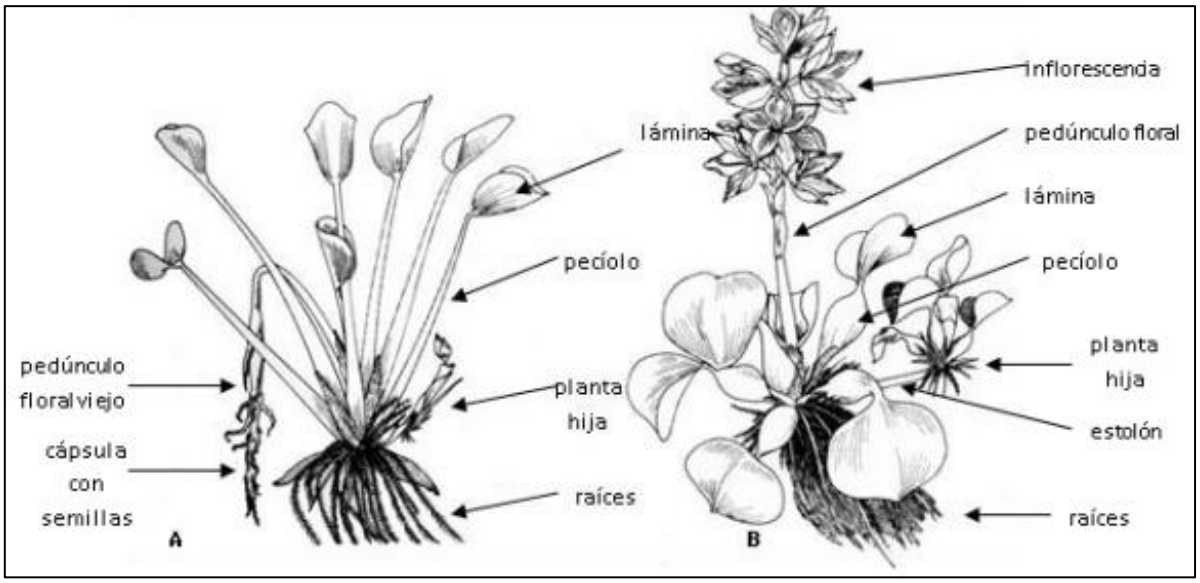

Figura 1.3 Plantas de jacinto de agua (E. crassipes) con (A) pecíolos delgados y (B) con pecíolos globosos.

Fuente: Sosa y Cecere, (2018).

El jacinto de agua *(E. crassipes)* es una de las plantas de más rápido crecimiento, en condiciones ideales de temperatura, pH y contenido de nutrientes disueltos en el agua, se puede reproducir en corto tiempo.

Por medio de la reproducción vegetativa (a través de estolones o fragmentos de planta), bajo condiciones adecuadas, forman plantas hijas, con la capacidad de

duplicar la población en un periodo 6 a 15 días. Dos plantas madre pueden producir 300 plantas hijas en 23 días y 1,200 en 4 meses (Cabrera Lizama, Cruz Rubio y Ramírez Gómez, 2015). Sin embargo, en condiciones adversas, cuando la tensión de oxígeno es baja, el tiempo de duplicación puede ser hasta 50 días.

Por otro lado, producen un fruto en con numerosas semillas, entre 3 a 450, reproducción sexual. Estas semillas pueden permanecer viables y conservar su capacidad germinativa entre 5-20 años (Cabrera Lizama et al., 2015) La figura 1.3 muestra aspectos relevantes de su morfología.

1.2 DESCRIPCIÓN DE LOS ASPECTOS FÍSICOS, BIOLÓGICOS, SOCIOECONÓMICOS DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD

El lago de Suchitlán o también conocido como El Embalse del Cerrón Grande fue construido artificialmente sobre el cauce medio del rio Lempa en 1973, con el fin de servir de reservorio a la Central Hidroeléctrica del Cerrón Grande, convirtiéndose en el cuerpo de agua continental más grande de El Salvador, pero a la vez el más contaminado puesto que las aguas negras, grises e industriales que provienen de los municipios de San Salvador, Santa Tecla, Mejicanos, Antiguo Cuscatlán, Cuscatancingo y Ciudad Delgado llegan a él a través del río Acelhuate y sus afluentes, a pesar de esto es hábitat de numerosas especies de aves nativas y migratorias (MARN, 2018). Según el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) el nombre oficial de este es Embalse Cerrón Grande, sin embargo, en el Municipio de Suchitoto lo denominan Lago de Suchitlán (Cuadra Zelaya y Romero García, 2006).

El 22 de noviembre de 2005 fue designado como Humedal de Importancia Internacional Ramsar, conformado por 60,698 hectáreas de zona protegida, de las cuales se ha estimado que 13,500 pertenecen al Embalse (Díaz, Escobar, Gómez y Morán, 2010).

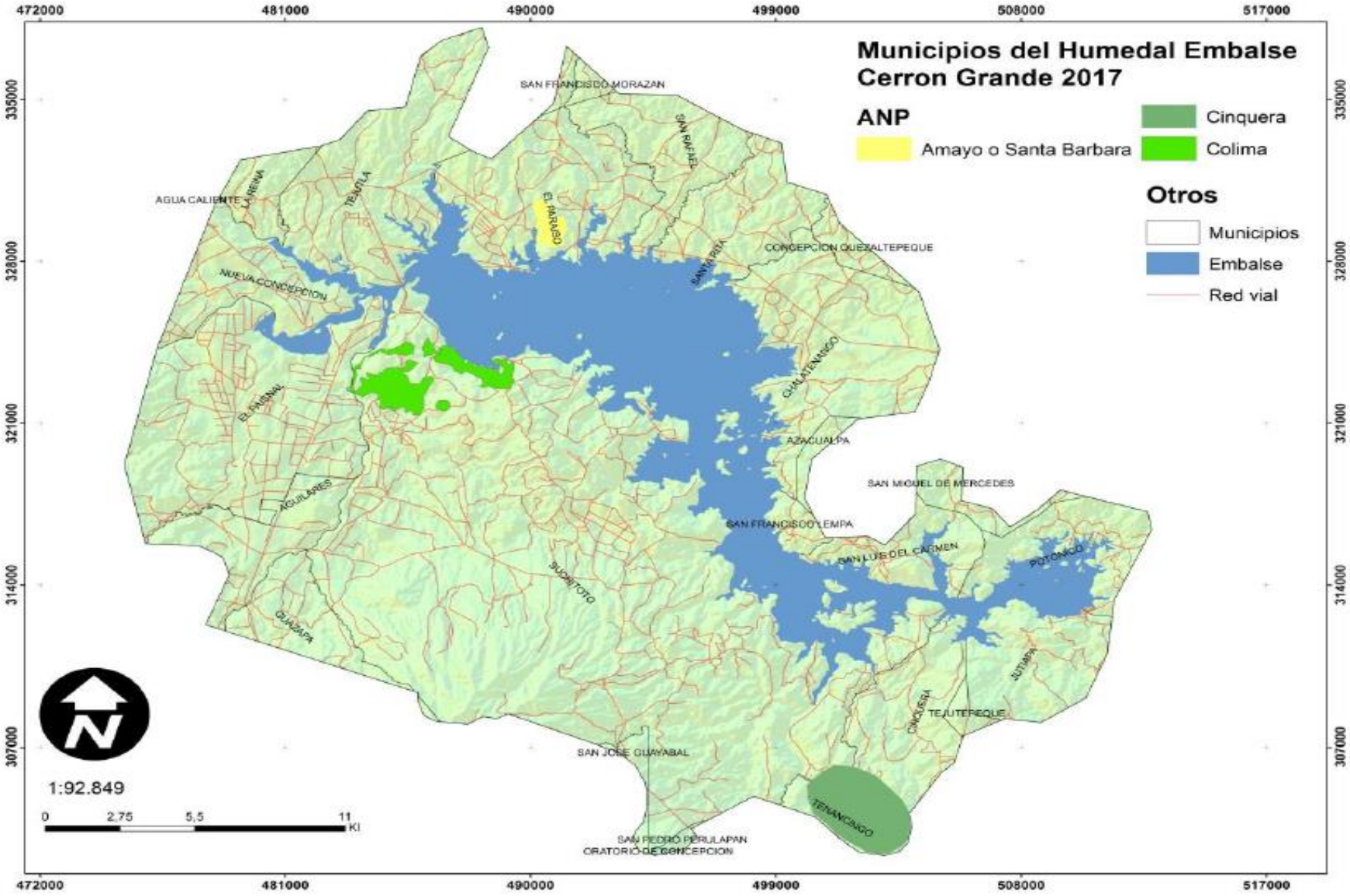

Figura 1.4 Humedal Embalse Cerrón Grande, con su límite territorial de sitio RAMSAR. Enero de 2017.

Fuente: MARN/ISCOS, (2017).

1.2.1 Área de influencia directa o indirecta

Los principales impactos directos e indirectos generados por la presencia de jacinto de agua *(E. crassipes)* es el embalse Cerrón Grande, a continuación, se describe esta área.

1.2.1.1 Ubicación General

El Embalse Cerrón Grande se encuentra ubicado en el tramo medio del rio Lempa incluido dentro de cuatro departamentos y abarcando un total de catorce municipios: El Paisnal, Suchitoto, Cinquera, Jutiapa, Potonico, San Luis del Carmen, San Francisco Lempa, Azacualpa, Nueva Concepción, Chalatenango, Santa Rita, San Rafael, El Paraíso, y Tejutla (Figura 1.4), con coordenadas geográficas Centro: 14°03’ N y 89°04’ O, límite Sudoccidental: 13°58’ N y 89°13’ O y límite Nororiente: 13°58’ N y 88°52’ O (MARN, 2004).

1.2.1.2 Aspectos físicos

El embalse cuenta con un área superficial de 13,500 hectáreas, con una capacidad de almacenaje de 2,180 millones de metros cuadrados de agua, contando con una profundidad de dos metros en su mayor parte, sin embargo, se estima que en sus zonas más profundas que se encuentran cerca del pueblo de Suchitoto alcanza una profundidad mayor a 45 metros. (MARN, 2018).

Posee una altitud media de 240 msnm y una cota que actúa como altura máxima de 300 msnm, exceptuando el área de los bosques de Cinquera cuya altura máxima alcanza 753 msnm en el cerro Arévalo. Según la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Rio Lempa (CEL) el nivel mínimo del embalse es de 228 msnm (Cuadra Zelaya y Romero García, 2006).

1.2.2 Descripción del escenario ambiental y social

El embalse Cerrón Grande se formó por la inundación de tierras ribereñas sobre cauce medio del rio lempa, a raíz de la construcción de la represa hidroeléctrica del mismo nombre. Los espejos de agua experimentan marcadas fluctuaciones entre la época seca y lluviosa; cuenta con una amplia diversidad de fauna, siendo el grupo de aves el más notorio. Destacan actividades como la pesca, agricultura, ganadería y producción hidroeléctrica, en menor medida el turismo, aspectos que se detallan a continuación.

1.2.2.1 Aspectos hidrográficos

El embalse Cerrón Grande forma parte de la región hidrográfica del río Lempa, con un total de 23 cuencas de 36 ríos o quebradas que vierten directamente al embalse los que se muestran en la Tabla 1.3. El nivel del agua de este depende de la pluviosidad estacional y de las descargas de agua realizadas con criterios de producción hidroeléctrica. En general la cota máxima se alcanza en el mes de octubre al final de la época lluviosa, con un promedio de descenso anual del nivel de 12 metros que inicia a partir de diciembre, debido a que se encuentra en una planicie de poco relieve que constituye el valle interior entre el complejo del volcán de Guazapa al sur y la cordillera Norte al norte (MARN, 2018).

En la época lluviosa la laguna El Carao y el pantano Los Chilamates se fusionan al embalse mediante amplias superficies inundables, mientras que en la época seca con el descenso del nivel de agua se forman extensos playones de lodo y lagunas estacionales que son de interés para aves acuáticas, además de la aparición de tierras con un alto potencial para la plantación de granos básicos y aprovechamiento de pastos naturales para ganadería (MARN, 2018).

Tabla 1.3 Afluentes del Embalse Cerrón Grande

	Ríos		Quebradas
1	Río Soyate	**1**	El Ojuste
2	Río Grande	**2**	Loma Lisa
3	Río Las Minas	**3**	La Crucita
4	Río El Potrero	**4**	Agua Zarca
5	Río Tamulasco	**5**	Las Pilonas
6	Río de Gualeza	**6**	Los Aposentos
7	Río Yancoque	**7**	Las Animas
8	Río Cutumayo	**8**	El Gancho
9	Río Sucio	**9**	El Ahorcado
10	Río Sinacapa	**10**	El Pescaladero
11	Río San Nicolás		
12	Río Limones		
13	Río Acelhuate		

Fuente: Cuadra Zelaya y Romero García, (2006).

1.2.2.2 Aspectos medioambientales

El embalse cuenta con 21 islas (islas de cerros sumergidos) con potencial de refugio de vida silvestre, cuya extensión se desconoce pero que se incluyen como superficie acuática y que son administradas por CEL. El Sistema de Áreas Naturales

Protegidas (SNAP) reconoce oficialmente dos áreas naturales en la región del Lago Suchitlán: Santa Bárbara con una extensión de 176.64 hectáreas en la jurisdicción de El Paraíso, Chalatenango; y Colima con 900 hectáreas jurisdicción de Suchitoto, Cuscatlán (Cuadra Zelaya y Romero García, 2006).

La zona climática corresponde a la zona de montaña de elevación mediana, mesetas y valles altos de 800 a 500 metros, mientras que la zona ribereña del humedal se ubica en la zona de vida de bosque húmedo subtropical caliente, esta es la principal zona de vida de El Salvador, caracterizada por presentar una topografía variada su precipitación va desde 1,400 mm hasta más de 2,000 mm anuales (MARN/ISCOS, 2017).

i. Dirección y velocidad del viento

Según datos obtenidos del informe climatológico 2003. los vientos predominantes son del Norte en la temporada seca y del Sur en la temporada lluviosa, con una velocidad de 5 Km/h, la temperatura ambiente de 26.48ºC (Cuadra Zelaya y Romero García, 2006).

ii. Datos de precipitación

El SNET según el boletín climatológico 2015, la humedad relativa en el embalse fue menor que sus normales climatológicas, con un promedio anual que registró 63 % HR siendo este menor a su normal climatológica 72 % HR y precipitación de 1861 mm (Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET) , 2015).

iii. Parámetros fisicoquímicos

El agua del Embalse Cerrón Grande es de baja calidad, el 30% del caudal que entra al humedal lo representa los ríos Suquiapa, Sucio y Acelhuate, recibe las descargas contaminantes de 157 fuentes: 54 industrias, 55 beneficios de café, 7 ingenios azucareros, 29 redes de alcantarillas y 9 rastros municipales, recibe del rio Acelhuate descargas de 17 industrias de metal y afines, 22 textileras, 7 fábricas de pinturas, 11 plantas papeleras y una descarga mensual de más de 8.5 millones de libras de excretas, provenientes de más de 1.5 millones de hogares del área metropolitana de San Salvador. (MARN/ISCOS, 2017).

En estaciones de control en Colima, San Cristóbal y Suchitoto se reportaron valores para bicarbonatos de 57.5 a 132.3 mg/l, nitratos de 3.35 a 0.02 mg/l, nitritos de 0.41 a 0.001 mg/l, y la presencia de metales como plomo en concentraciones de 1.77 a 6.28 mg/l y cromo de 0.27 a 0.78 mg/l. (Cuadra Zelaya y Romero García, 2006)

La turbidez y el color del agua en el embalse oscila entre 5.0 y 117 NTU, por otra parte, los ríos presentan una mayor turbidez, la cual puede ser hasta de 500 NTU.

El color del cuerpo de agua cambia dependiendo de la zona, en la zona de confluencia de los ríos Acelhuate y Lempa es café-tierra, en la parte noroeste el color es verde y la penetración de la luz se limita a 15 cm o menos producto de la proliferación de cianofíceas y otras microalgas las cuales generan una capa superficial de aspecto turbio, en la parte central y sureste se torna color café-oscuro por la disminución de la proliferación de las cianofíceas y otras algas con una penetración de la luz que puede alcanzar entre 60 y 80 cm de profundidad. El pH es neutro en las zonas cercanas a ríos donde no existe proliferación de algas, al contrario de las zonas donde se encuentran altas concentraciones de cianofíceas en donde alcanza un valor de hasta 9.5 (MARN/ISCOS, 2017).

Las concentraciones de los gases disueltos en el agua también varían con respecto a la zona dentro del humedal, el nivel de oxígeno disuelto varía entre 4.0 y 9.0 mg/l, a una profundidad promedio de 10 m desciende a valores menores a 2.0 mg/l, en las zonas de los principales ríos afluentes los valores se encuentran entre 4.0 y 6.0 mg/l, mientras que la concentración aumenta en las zonas donde existe una importante presencia de cianofíceas y microalgas. Con respecto a los nutrientes en el medio acuático, el rio Acelhuate antes de su confluencia con el embalse presentó una concentración de nitratos de 13.0 mg/l, los ríos Metayate y Quezalapa reflejaron niveles de nitratos no detectable y 1.05 mg/l, respectivamente. (MARN/ISCOS, 2017).

En los años entre el 2008 a 2013 el potencial de oxidación reducción del agua en el embalse y en las áreas de los ríos cercanos a su confluencia osciló entre - 0.1 a + 0.9 voltios, con variaciones de 86.2 a 380 µs/cm, para el año 2016 las concentraciones variaron entre 212 y 243 µs/cm, en los afluentes en la zona norte de 85 a 142 µs/cm y en arroyos y ríos en la zona sur entre 68 y 243 µs/cm. (MARN/ISCOS, 2017).

El Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) en el Catálogo de Mapas de Zonas Criticas Prioritarias en Humedales Ramsar de El Salvador presentó en el 2012, mapas en donde se muestran las zonas con concentraciones aceptables y críticas de algunos parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos (pH ácido, nivel de oxígeno disuelto, pH alcalino, coliformes totales y conductividad) del agua del humedal Embalse Cerrón Grande. Los cuales se muestran a continuación en las figuras 1.5 a 1.9).

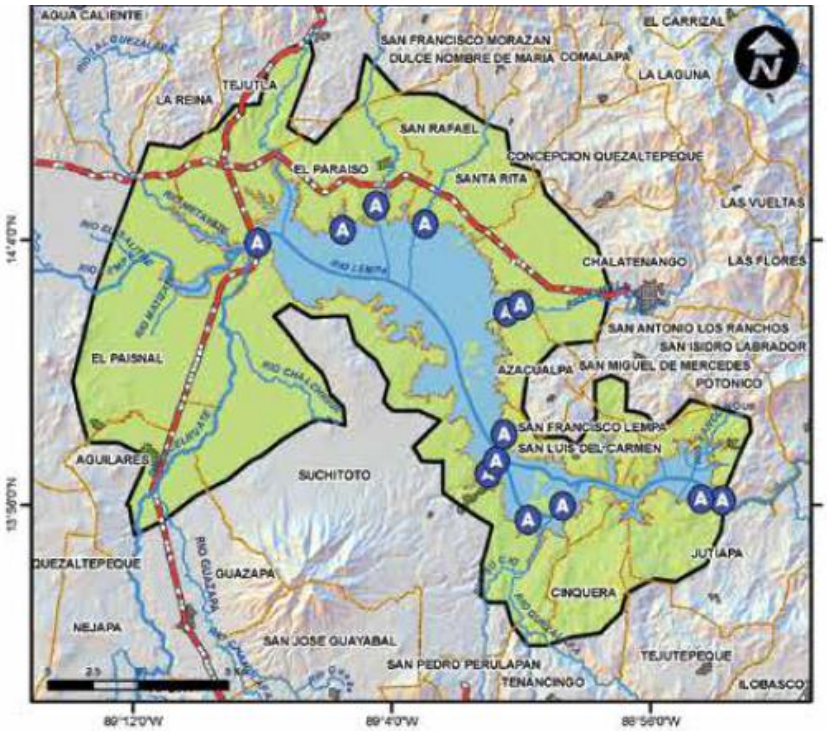

Figura 1.5 Nivel de pH ácido en las zonas del Embalse Cerrón Grande
Fuente: MARN, (2012).

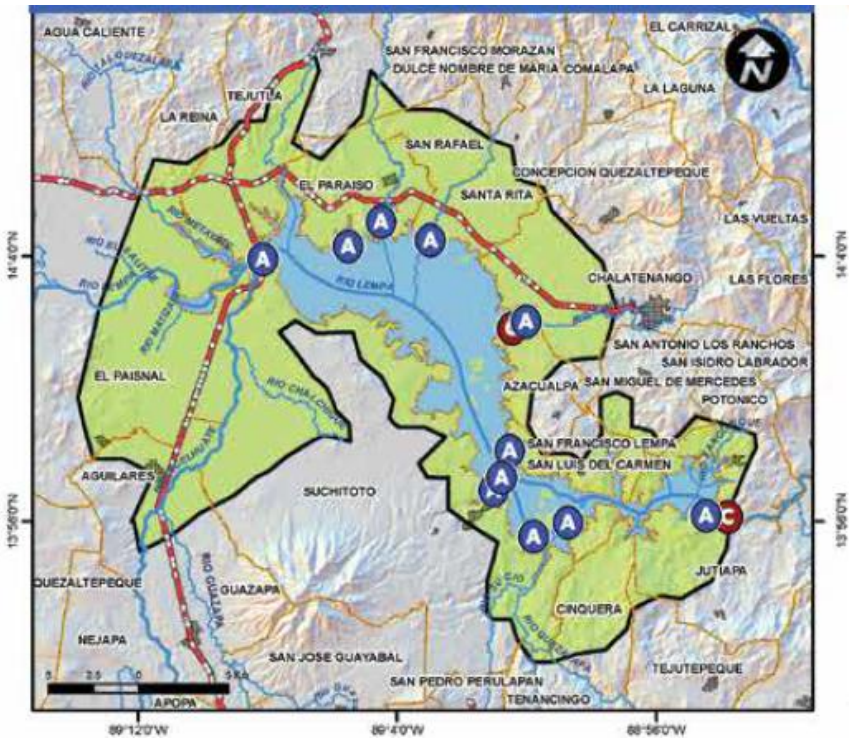

Figura 1.6 Nivel de oxígeno disuelto en las zonas del Embalse Cerrón Grande
Fuente: MARN, (2012).

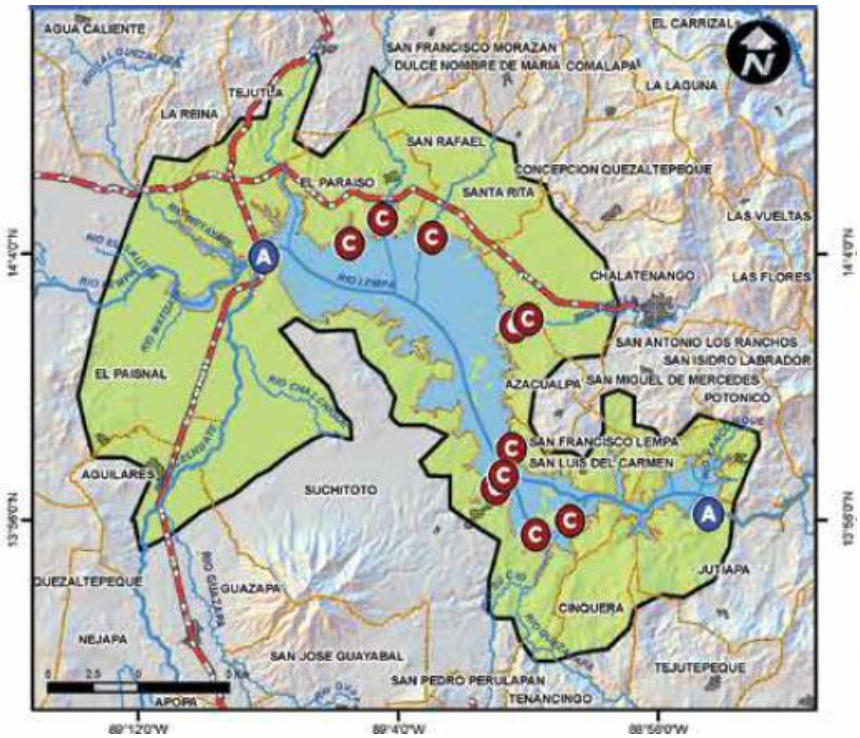

Figura 1.7 Nivel de pH alcalino en las zonas del Embalse Cerrón Grande

Fuente: MARN, (2012).

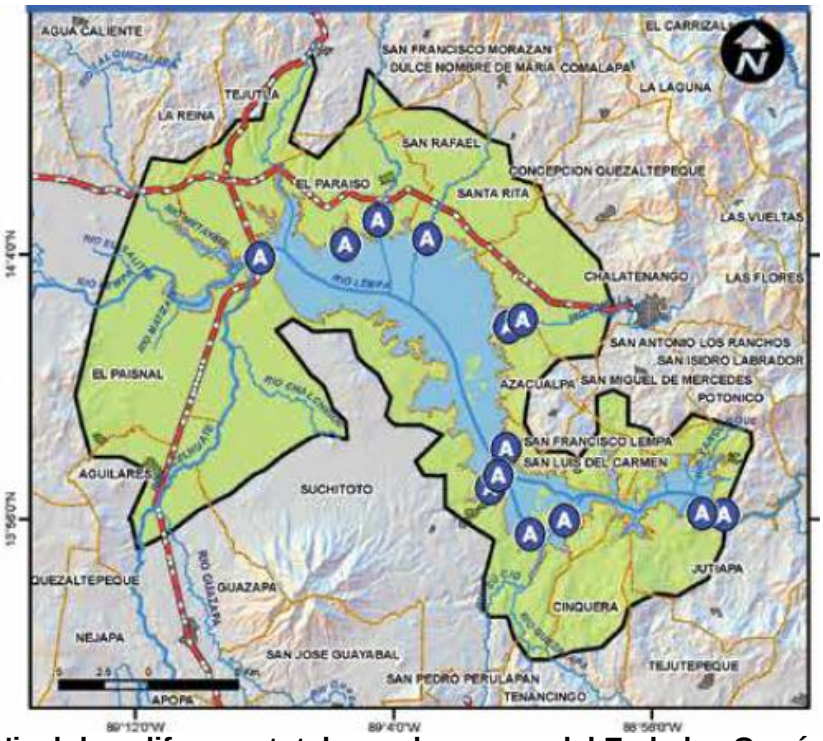

Figura 1.8 Nivel de coliformes totales en las zonas del Embalse Cerrón Grande

Fuente: MARN, (2012).

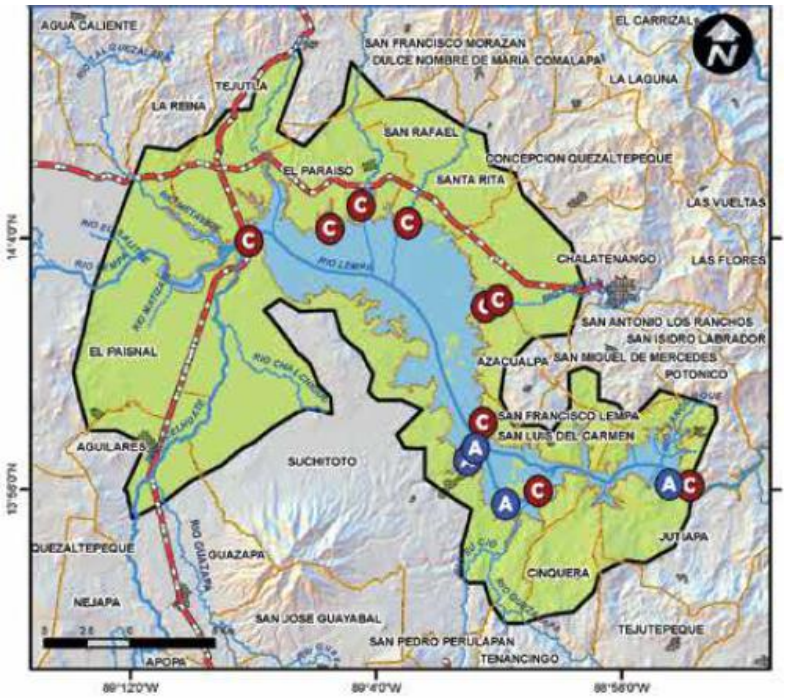

Figura 1.9 Nivel de conductividad en las zonas del Embalse Cerrón Grande.
Fuente: MARN, (2012).

1.2.2.3 Aspectos Ecológicos

El humedal de Embalse Cerrón Grande es de gran relevancia por su biodiversidad, se han identificado 15 especies de peces, 18 de anfibios, 48 de reptiles, 193 de aves y 23 de mamíferos. De las cuales 12 de las 15 especies de peces identificados son nativas, entre las cuales se pueden mencionar: plateada (*Astyanax fasciatus*), juilín (*Rhamdia guatemalensis*), cuatro ojos (*Anableps dowi*), burra (*Cichlasoma nigrofasciatum*), mojarra (*Cichlasoma guija*), guapote criollo o verde (*Cichlasoma trimaculatum*); siendo estos dos últimos consideradas amenazadas a nivel nacional, mientras que las otras tres especies exóticas introducidas al embalse son: la carpa (*Cyprinus carpio*), la tilapia (*Oreochromis sp*) y el guapote tigre (*Cichlasoma managuense o Parachromis managuensis*). De las 48 especies de reptiles existentes, dos son especies amenazadas: el cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) considerado vulnerable globalmente y el caimán de anteojos (*Caiman crocodilus*) amenazado a escala nacional (MARN, 2018).

El humedal cuenta con un sistema de diversas isletas que albergan una población significativa de aves migratorias que utilizan este lugar como sitio para descanso, anidación y alimentación, siendo las aves el grupo que más destaca dentro de la fauna del lugar, y no solo por el número de especies existentes, sino que también por las enormes cantidades individuales de las poblaciones. Se han registrado un

promedio anual de unos 90,000 patos o zarcetas migratorias, entre las cuales destacan: la zarceta aliazul (*Anas discors*), el pato cucharón (*Anas clypeata*), pato chalcuán (*Anas americana*), pato colorado (*Anas cyanoptera*), pato colilargo (*Anas acuta*) y el pato boludo-menor (*Aythya affinis*), además de especies residentes como: el pishishe aliblanco (*Dendrocygna autumnalis*), el pishishe real (*Dendrocygna bicolor*) y el pato criollo (*Cairina moschata*). Existe una diversidad de aves playeras o limnícolas: como: el alza colita (*Actitís macularía*) y varias especies del género *Callidris*. Además de especies más asociadas a la costa, como las golondrinas de mar (*Sterna spp*.), las gaviotas (*Larus spp*.), los pelícanos cafés (*Pelecanos occidentalis*) y blanco (*Pelecanus erythrorhynchos*), la espátula rosada (*Ajaia ajaja*) y la cigüeña americana (*Mycteria americana*), las cuales se encuentran aquí en grandes números. En 2017 se estimó una población de 40,390 individuos de cormorán neotropical (*Phalacrocorax brasilianus*), convirtiéndose en una competencia directa para los humanos por los peces del embalse (MARN, 2018).

En las zonas boscosas se ha identificado la presencia de fauna indicadora de bosques grandes o en un estado aceptable de conservación, como lo son: el toledo (*Chiroxiphia linearis*), el ocelote (*Leopardus pardalis*), el tepezcuintle (*Agouti paca*) y el venado colorado (*Mazama americana*) (MARN, 2018).

Actualmente no se cuenta con un inventario completos de todas las especies acuáticas de la zona, sin embargo, se destaca la presencia de jacinto de agua (*E. crassipes*), lechuga de agua (*Pistia striatotos*) y tule (*Typha angustiofila*) (Cuadra Zelaya & Romero García, 2006). Entre 1998 y 2003, se realizaron tres estudios en los bosques secos que rodean el embalse, encontrándose especies típicas de los bosques secos centroamericanos, con un predominio de árboles y arbustos heliófilos o invasores propios de bosques degradados o en fase de regeneración. En Cinquera se encontraron especies propias de bosques maduros, destacando el hallazgo de varias decenas de ejemplares del árbol *Diospyros morenoi*, el cual no había sido reportado en El Salvador (MARN, 2018).

1.2.2.4 Uso de suelos

Entre los usos de suelo que más dominan en el Embalse Cerrón Grande se pueden mencionar: las zonas de cultivos o mezclas de sistemas productivos que representan más del 50% del área total; compuestos por cultivos de granos básicos de maíz, frijol, arroz, maicillo y café, cultivos de caña de azúcar que se encuentran localizados principalmente en la zona norponiente y sur del embalse, además de sembradillos de arroz en una menor cantidad. Uso de bosques y vegetación: se han identificado dos tipos de bosques, además de vegetación abierta arbustiva predominantemente decidua en época seca (matorral y arbustal), vegetación abierta

predominantemente siempre verde latifoliada esclerófila (chaparral), vegetación abierta, sabanas, campos y pastizales similares de tierras bajas y submontanas (morral), vegetación cerrada principalmente verde riparia y vegetación cerrada tropical ombrófila semidecidua de tierras bajas. El uso habitacional o área urbana se encuentra distribuido por toda la zona, y pertenece a cantones, caseríos y centros urbanos como Potonico, San Luis del Carmen, San Francisco Lempa, Azacualpa y Suchitoto. Para uso turístico se encuentra principalmente el embarcadero San Juan al norte de la ciudad de Suchitoto, lugar que cuenta con servicio de comida, bebidas y paseos en lanchas a los vigilantes. El Embalse también cuenta con uso de cuerpo de agua de aproximadamente 13,500 hectáreas en la cuenca del río Lempa (Cuadra Zelaya y Romero García, 2006).

1.2.2.5 Aspectos socioeconómicos

A continuación, se realiza una investigación bibliográfica sobre las condiciones socioeconómicas de las zonas aledañas al embalse Cerrón Grande, conociendo los servicios básicos con los que cuentan la población y las actividades que mantienen la economía en movimiento.

i. Población

La población ribereña que habita en las cercanías de este embalse asociado al humedal está estimada en 98,041 habitantes, siendo los territorios con mayor población, se encuentran concentrados en la cabecera de Chalatenango (30,096 personas), Suchitoto (16,347), Tejutla (14,088) y El Paraíso (10,173). El municipio de Cinquera es el menos poblado contando con 744 personas. La zona norte del humedal (Chalatenango) presenta unas de las densidades poblacionales más bajas de El Salvador, estimada en 88 personas por kilómetro cuadrado (MARN, 2004).

ii. Propiedad

El principal propietario de la zona es la empresa estatal de producción eléctrica CEL, que adquirió la propiedad de todas las tierras ocupadas por el embalse hasta la cota de 245 m.s.n.m. CEL posee un total estimado de 18,869 has (13,500 hectáreas de embalse y 5,369 hectáreas de tierras fluctuantes). El otro propietario estatal es el Ministerio del Medio Ambiente y los Recursos Naturales (MARN) que gestiona las áreas naturales protegidas de Santa Bárbara y Colima con una extensión total estimada en 1076 hectáreas. El resto del sitio Ramsar Cerrón Grande es de propiedad privada o municipal (MARN/ISCOS, 2017).

iii. Calidad del agua potable

Las municipalidades ribereñas existen dos tipos de abastecimiento de agua potable: a través de pozos, principalmente en el área rural, al carecer de sistemas de cañería

para dicho suministro y el servicio a través de cañería por gravedad en el área urbana, el agua proviene de tanques de captación localizada en nacimientos de agua y en algunos casos existe el abastecimiento por medio de cantareras (CLIMAPESCA, 2017).

La cobertura del servicio de agua potable en el municipio de chalchuapa se estima en un 95%, tanto en el área urbana y en la rural, el restante 5% se abastecen a través de pozos, nacimientos de agua, entre otros (CECADE, 2014), este abastecimiento mediante pozos en los márgenes del embalse, en términos de salud, se considera totalmente caótico, puesto que los tipos y niveles de contaminantes dispersos en el embalse son altos y consecuentemente la calidad del agua de consumo humano es alarmante.

iv. Educación (MARN/ISCOS, 2017)

La situación actual de la educación en el departamento de Chalatenango está por debajo del nivel de formación básica con una escolaridad promedio de 4.6 años. En el municipio de Chalatenango el promedio es de 6.3 años, bajando en el nivel rural hasta 5.4 años y que sube a 6.9 años en el área urbana, siendo las mujeres la que cuentan con una leve ventaja respecto de los hombres (6.4 y 6.2 respectivamente). Las razones de esta situación se deben en gran medida a las dificultades de acceso a centros educativos infantiles; ausentismo y deserción escolar en el rango de 7 a 15 años, lo que se atribuye a las dificultades económicas de las familias, además la oferta laboral no puede ser absorbida en su totalidad por el municipio a aquellos que alcanzan niveles de educación superior y técnica por lo que se ven obligados a emigrar.

v. Telecomunicaciones y energía eléctrica

El servicio de telecomunicaciones es exclusivo de los centros urbanos y algunas zonas turísticas, donde en general es irregular. Dentro del humedal poseen este servicio en forma domiciliar. La participación de empresas de este sector es baja pero lo suficiente como para dar el servicio al tejido empresarial y habitacional del municipio.

La cobertura del servicio de energía eléctrica es altamente eficiente, ya que el 99% de un total de 7,730 viviendas, tanto del área urbana como del área rural cuentan con dicho servicio. El porcentaje de viviendas sin cobertura es mínimo, del total de los hogares que no poseen el servicio el 2.5% utiliza candela (velas) para iluminarse, mientras que solo el 0.09% utiliza keroseno (gas) (CECADE, 2014).

vi. Actividades económicas

La pesca, acuicultura, agricultura intensiva y extensiva, ganadería y producción hidroeléctrica y en menor medida, el uso turístico son las actividades económicas que se realizan en la zona del embalse Cerrón Grande.

a) Pesca

La pesca artesanal en el humedal Cerrón Grande se considera el rubro económico más importante, (aún mayor que la agricultura de subsistencia); empleando en la mayoría de casos embarcaciones modestas (cayucos de madera o fibra de vidrio) (CLIMAPESCA, 2017), se encuentran 23 comunidades pesqueras distribuidas a lo largo del embalse; quienes albergan a un total de aproximadamente 1790 pescadores registrados en la oficina estatal reguladora de la pesca (CENDEPESCA) hasta junio de 2016 La mayoría de los pescadores están organizados en Asociaciones Comunales de Pescadores (ACOPES), en la Asociación Pesquera del Embalse del Cerrón Grande (ASPESGRA) una organización de segundo nivel que aglutina siete asociaciones de pescadores, entre ellas: ACOPELCO, ACOPECU, ACOPESOL, ACOPEBRILA, ACOPERIGRA, ACOPESDO (MARN/ISCOS, 2017).

b) **Acuicultura** (CLIMAPESCA, 2017).

Se ejecutan cuatro proyectos de acuicultura en los alrededores del embalse Cerrón Grande: Proyecto de Estación de producción de alevines en Santa Bárbara, el proyecto Cuarta Brigada de Infantería en Municipio de El Paraíso en el Departamento de Chalatenango, proyecto Aldeíta, en el cantón Aldeita, Departamento de Chalatenango y el proyecto Pecera El Manguito en el cantón Santa Bárbara, aportando una producción anual de 450,000 alevines de tilapia y 3, 045 Kg. en las estaciones de producción. Las especies cultivadas son la tilapia y el camarón de río.

c) Agricultura

Las mejores tierras agrícolas son las llamadas “tierras fluctuantes” y corresponden a las orillas del embalse que quedan expuestas en la época seca. Estas tierras son arrendadas por CEL a agricultores, cooperativas agropecuarias y ganaderos Los principales cultivos son hortalizas, maíz, fríjol, arroz y sorgo. Los sembradíos de caña de azúcar se localizan principalmente en la zona noroeste y sur del humedal y en menor cantidad existen sembradíos de arroz (MARN, 2004).

El sector agropecuario, tiene como principal problema la producción agropecuaria de las tierras fluctuantes del humedal, es el elevado costo de los insumos agrícolas, la incidencia de plagas y enfermedades, la falta de financiamiento y asistencia técnica y los bajos precios de los productos agropecuarios, principalmente por la excesiva intermediación en el proceso de comercialización (MARN/ISCOS, 2017).

d) Ganadería

La mayor parte de la actividad ganadera se centra en la producción extensiva de carne de res, y en mucha menor medida en la producción porcina y avícola de tipo familiar (MARN, 2004). El Censo Agropecuario 2008 registró hato ganadero en el municipio de Chalatenango de 7,670 cabezas, representando el 8% del existente a nivel del departamento. Este municipio va a la vanguardia en lo que a tecnología moderna se refiere, los ganaderos producen y comercializan lácteos integrándose a cadenas productivas. (MARN/ISCOS, 2017), mientras que en Suchitoto el Censo Agropecuario 2008 registró un hato ganadero de 9,118 cabezas, representando el 52% del existente a nivel del departamento de Cabañas.

e) Producción Hidroeléctrica (MARN/ISCOS, 2017)

La cuenca del río Lempa incluye cuatro presas hidroeléctricas, las cuales generan el 32% de la energía producida en El Salvador. Dentro de estas cuatro presas, la del Cerrón Grande destaca por haber producido hasta el 2003 el 26% del total de electricidad producida por éstas. Además, la capacidad de almacenaje del Cerrón Grande aumenta la producción hidroeléctrica de las dos presas situadas aguas abajo.

f) Turismo (MARN/ISCOS, 2017)

En cuanto a actividades turísticas el sitio presenta una interesante combinación de atractivos paisajísticos, ecológicos y culturales con fuerte potencial. Destaca la ciudad de Suchitoto, como una de las principales (sino la principal) ciudades coloniales del país, donde ofrece un conjunto urbano de gran belleza, unido a unos niveles de seguridad superiores a los de la mayoría del país y a una oferta hostelera variada y de excelente calidad.

El embalse sirve como lugar de recreo y visitación mediante recorridos acuáticos. Cuenta con un malecón construido por la municipalidad de Suchitoto. Igualmente, en la Hacienda Santa Bárbara (cerca del área natural protegida del mismo nombre) la organización comunal ACPETUAGRO ha desarrollado un pequeño astillero artesanal de embarcaciones de vela que se alquilan a los visitantes del embalse.

Los recorridos por los bosques de Colima, Santa Bárbara y Cinquera, con la posibilidad de visitar las agrupaciones de aves acuáticas presentes en el embalse y las áreas inundables del occidente también es otro servicio de interés económico, aun cuando ya no es tan demandado debido al aumento de inseguridad en la zona.

1.3 IMPACTO DEL JACINTO DE AGUA (*E. crassipes*) EN EL LAGO SUCHITLÁN

El impacto que produce el jacinto de agua (E. crassipes) en el lago de Suchitlan abarca tres principales aspectos que son el espacio que ocupa la planta en el lago, los impactos relacionados con la diversidad marina, es decir el uso que la fauna acuática hace de la planta y el impacto que tiene en las zonas aledañas al lago.

1.3.1 Biomasa del jacinto de agua (*E. crassipes*) en el cuerpo de agua

El Plan de Manejo Integral Participativo de los Recursos Naturales del Humedal Embalse Cerrón Grande 2017-2022, presentado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) y el Instituto Sindical Italiano para el Desarrollo Internacional (ISCOS) menciona que el jacinto de agua *(E. crassipes)* es la especie acuática que tiene el mayor efecto sobre el funcionamiento del humedal, estimándose una cobertura del 30 % del cuerpo de agua (MARN/ISCOS, 2017).

Por otra parte, el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturas (2012) presentó el "*Catálogo de Mapas de Zonas Criticas Prioritarias en Humedales Ramsar de El Salvador. Medio Ambiente y Recursos Naturales"* en el cual incluyó el siguiente mapa en donde se muestran las zonas críticas afectadas por diversas actividades antropogénicas y naturales en el Embalse Cerrón Grande (Figura 1.10), entre las cuales se incluyen las zonas invadidas por la planta acuática jacinto de agua *(E. crassipes).*

1.3.2 Uso que la fauna acuática hace del jacinto de agua (*E. crassipes*)

El Embalse Cerrón Grande cuenta una amplia diversidad de especies de peces, anfibios, mamíferos, aves y reptiles, siendo las más conocidas la mojarra, el guapote, la tilapia, el cocodrilo americano, el caimán de anteojos, el pato cucharón o pato chalcuán; se encuentran también especies residentes de aves como: el pishishe aliblanco, el pishishe real y el pato criollo, además de especies asociadas

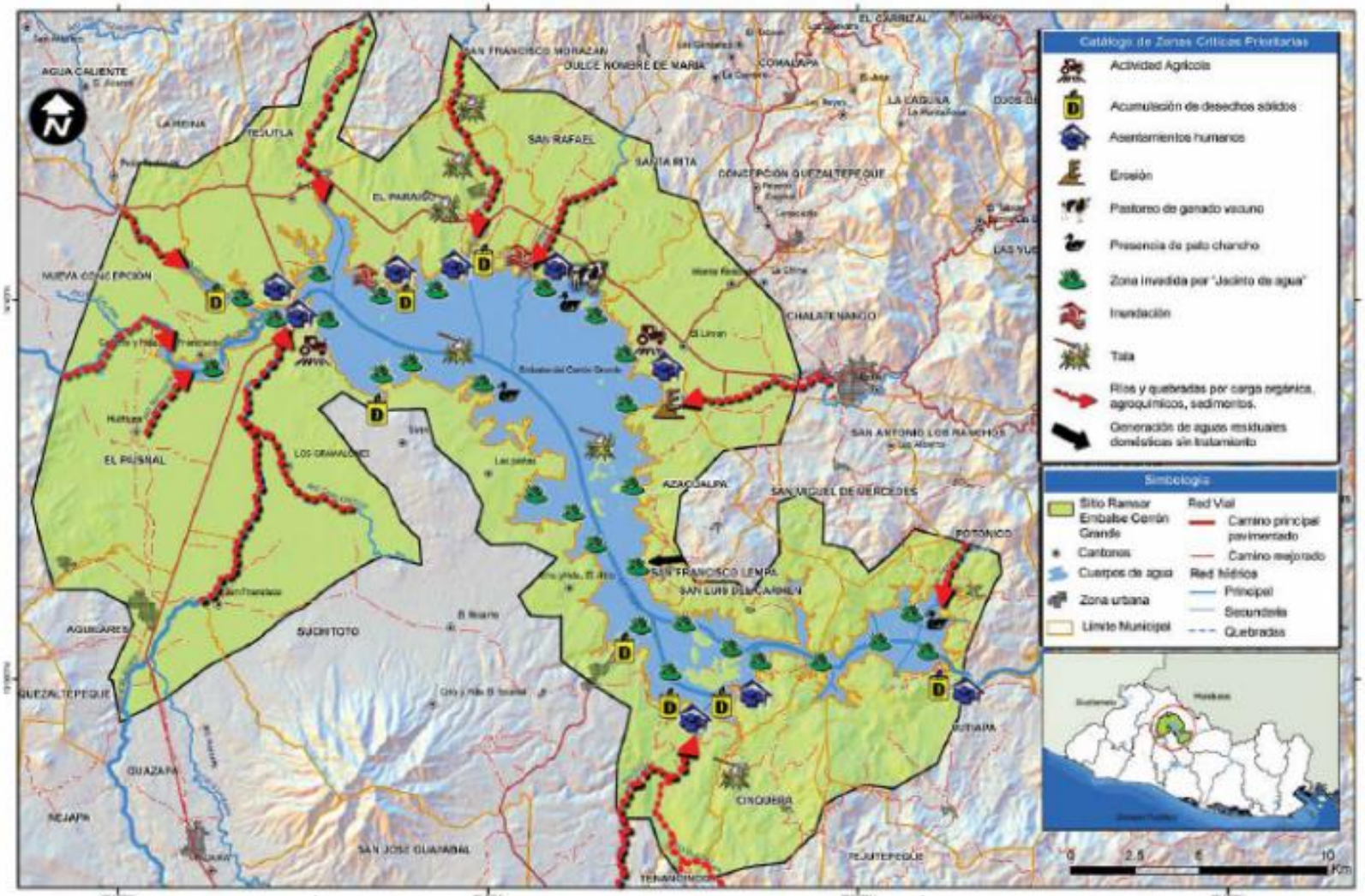

Figura 1.10 Mapa de zonas críticas afectadas por diversas actividades antropogénicas y naturales en el Embalse Cerrón Grande

Fuente: MARN, (2012).

a la costa, como las golondrinas de mar, las gaviotas y pelicanos, sin embargo, una población densa de jacinto de agua *(E. crassipes)* como la que se evidencia en el embalse, afecta directamente a la fauna acuática por diferentes razones.

1.3.2.1 Reducción del fitoplancton y zooplancton

El jacinto de agua *(E. crassipes)* vive flotando en la superficie del cuerpo de agua, se desarrolla de manera excesiva lo cual provoca una disminución en la capacidad de penetración de la luz, impidiendo el paso hacia las capas más profundas, algo fundamental para el desarrollo y crecimiento del fitoplancton. La sombra proyectada por el jacinto de agua *(E. crassipes)* puede inhibir el crecimiento del fitoplancton, lo cual, a su vez, reduce la densidad poblacional de zooplancton y se afecta la cadena alimenticia (Labrada et al, 1996). Al impedir la entrada de luz bajo el agua, las especies de algas de gran importancia para la sustentación de los ecosistemas no pueden realizar la fotosíntesis y acaban desapareciendo

1.3.2.2 Reducción del contenido de oxigeno

Como consecuencia de la reducción de fitoplancton, se frena la producción de oxígeno y por tanto su concentración en la columna de agua disminuye. Existe una relación negativa entre la abundancia de *E. crassipes* y las concentraciones de oxígeno disuelto (D.O.), es así que el contenido del oxígeno es menor debajo del manto de *E. crassipes* y puede descender a cero, causando efectos catastróficos sobre peces y otros animales (Labrada et al., 1996), e incluso, en ocasiones, puede causar la muerte de peces debido a la reducción en los niveles de oxígeno.

Asimismo, la reducción de oxígeno y fitoplancton disminuye la población animal, por lo que en general se reduce la biodiversidad. Además, la descomposición de la planta incrementa los niveles de sulfuro de azufre, aumenta la demanda química y biológica del oxígeno. Por otro lado, se destacan aspectos positivos del jacinto de agua *(E. crassipes)* en relación con la fauna acuática, ya que es empleada para la alimentación de distintas especies acuáticas que devoran las raíces, los peciolos y las hojas sumergidas, además, distintas especies de aves han sido observadas usando el jacinto de agua para obtener alimento. Otra actividad desarrollada por las aves en el jacinto de agua es el reposo, la cobertura de esta especie incrementa las posibilidades de refugio para especies que permanecen inactivas por lagos periodos de tiempo. También, permite con su parte área un refugio para las diferentes especies de peces, protegiéndolos del sol excesivo además protege las diferentes especies de peces de depredadores, como las garzas. Las raíces constituyen un importante soporte para el desove de especies ovíparas.

1.3.3 Impacto del jacinto del agua (*E. crassipes*) en la actividad de las comunidades locales

El lago de Suchitlán ubicado en el municipio de Suchitoto, muestra un aumento en la proliferación y crecimiento del jacinto de agua *(E. crassipes)*. Desde hace muchos años hemos visto desde la ciudad como las aguas del lago se cubren continuamente con densos bloques de esta planta. El crecimiento acelerado trae consigo diversos impactos en las actividades de las comunidades locales, ya que afecta las posibilidades de navegación (Figura 1.11), desplazamiento de embarcaciones, turismo y pesca; siendo la pesca considerada el rubro económico más importante para los pobladores de las comunidades ribereñas del Humedal Cerrón Grande (Díaz, Escobar, Gómez & Morán, 2010).También afecta la calidad del agua, favorece la propagación de enfermedades y contribuye al bloqueo de turbinas en la presa.

Figura 1.11 Fotografía del jacinto de agua, (*E. crassipes*), en el Puerto San Juan, Suchitoto, noviembre 2019.

La abundancia de jacinto de agua *(E. crassipes)* en lago de Suchitlán dificulta la movilidad y la capacidad de maniobra de las lanchas que se dedican a la pesca o al turismo, además, el crecimiento desmesurado provoca bloqueos en muelles y atracaderos, lo que implica una afectación directa en la economía de los lancheros y los habitantes. En el año 1994, el área cubierta por esta planta acuática rondaba los 6 km² (aprox. 5% del embalse). En la actualidad, representantes de cooperativas de pescadores y de CENDEPESCA señalan que la proliferación del jacinto de agua *(E. crassipes)* ha sido tal que podría haber alcanzado un 30%, es decir, 40.5 km² (Díaz, Escobar, Gómez & Morán, 2010). Situación que afecta, principalmente, a los pescadores debido a que se dificulta la navegación hasta que se hace imposible.

Asimismo, la perdida de agua causada por la evapotranspiración de la planta contribuye al azolvamiento en el embalse; la presa se obstaculiza y se sedimenta. En los meses de mayor floración, entre junio y enero, se dificultan las actividades de generación de energía eléctrica, las plantas son arrastradas hacia las entradas de las estaciones y obras cabeceras de irrigación, causando daños costosos o cierre por reparación de dichas instalaciones (Manzón, 2019).

Por otro lado, el buen control y manejo del jacinto de agua *(E. crassipes)* podrá traer impactos económicos, ambientales y sociales positivos, como la producción de energía (biogás) alimento para ganado, mejoramiento de suelos, materia prima para la elaboración de artesanías y diversos usos que se mencionan posteriormente, contribuyendo de tal forma a la generación de ingresos de las comunidades aledañas al embalse.

1.4 INVASIVIDAD DEL JACINTO DE AGUA *(E. crassipes*)

La alta capacidad reproductiva de la planta en cuerpos de agua, su adaptabilidad y la resistencia a ambientes adversos la convierten en una especie imposible de erradicar, ocasionando serios problemas sobre la biodiversidad, ecosistemas, economía y en algunos aspectos sociales, es por ellos que se cataloga en diversas fuentes como una especie invasora.
La invasividad del jacinto de agua *(E. crassipes)* se puede determinar con el Método de Evaluación Rápida de Invasividad, MERI. El método puede ser utilizado por todos los grupos taxonómicos con el objetivo de determinar el riesgo de invasión de una especie exótica.

Las consideraciones a tomar en cuenta para a aplicar el método, son las siguientes:

a) La especie evaluada debe contar una identificación certificada y una correcta clasificación taxonómica.

b) Antes de realizar el análisis y evaluar la especie se deben plantear dos preguntas. La primera, revisar la existencia de análisis de riesgo previos para la especie de estudio, en el caso que ya se hayan realizado evaluaciones con metodologías específicas y detalladas se tomaran los resultados de estas como base para cualquier decisión en cuanto al manejo. La segunda, conocer si la especie es compatible con las condiciones climáticas de la región (Born-Schmidt, de Alba, Parpal & Koleff, 2017).

Si no existe un análisis de riesgo previo para la especie y tiene compatibilidad climática, entonces se aplica el Método de Evaluación Rápida de Invasividad.

c) Incluir referencias científicamente solidas que fundamenten cada respuesta, al mismo tiempo, evitar inferir o interpretar la información al citar referencias.

1.4.1 Método de Evaluación Rápida de Invasividad (MERI)

El método se divide en 3 grandes rubros (estatus, riesgo de invasión e impactos) que en total consisten en 10 preguntas, a cada pregunta se asigna un valor que va de nulo a muy alto, con un valor numérico asociado, con el fin conocer y evaluar el riesgo de especies no introducidas, especies presentes o para identificar y erradicar antes de establecerse. En la Tabla 1.4 se muestra la relación entre el valor numérico y categoría en que se encuentra la especie.

Tabla 1.4 Clasificación de riesgo de invasividad de acuerdo con el valor obtenido en el MERI

Categoría como invasora	Valor numérico
Bajo	Menor a 0.125
Medio	Mayor a 0.125 y menor a 0.25
Alto	Mayor a 0.25 y menor a 0.5
Muy alto	Mayor a 0.5

Fuente: CINABIO (2015).

Asimismo, a cada pregunta se le asocia un grado de incertidumbre que toma en cuenta la calidad de la información utilizada para hacer la evaluación, estas se catalogan de mínima a máxima. Cada respuesta debe incluir un valor de incertidumbre (Tabla 1.5), el valor de incertidumbre mínimo hace referencia a la información contundente de varias fuentes confiables, por ejemplo, revistas científicas, libros, etc. Por otro lado, el valor máximo de incertidumbre se usa cunado la información es poco confiable, por ejemplo, páginas electrónicas sin valides alguna. La incertidumbre considera que el conocimiento sobre los factores que contribuyen al riesgo nunca es absoluto y la calidad de la información.

Se establecen cinco categorías de incertidumbre: mínima, baja, moderada, alta y máxima, detalladas en la Tabla 1.5. Los valores tanto de incertidumbre como el valor de cada pregunta se combinan mediante un análisis s de multicriterio para obtener

el valor final de invasividad de la especie. De acuerdo con este valor la especie se clasificará según el riesgo de invasividad (CINABIO, 2015).

El esquema muestra las 10 preguntas divididas en tres secciones: estatus, riesgo de invasión e impactos (Figura 1.12).

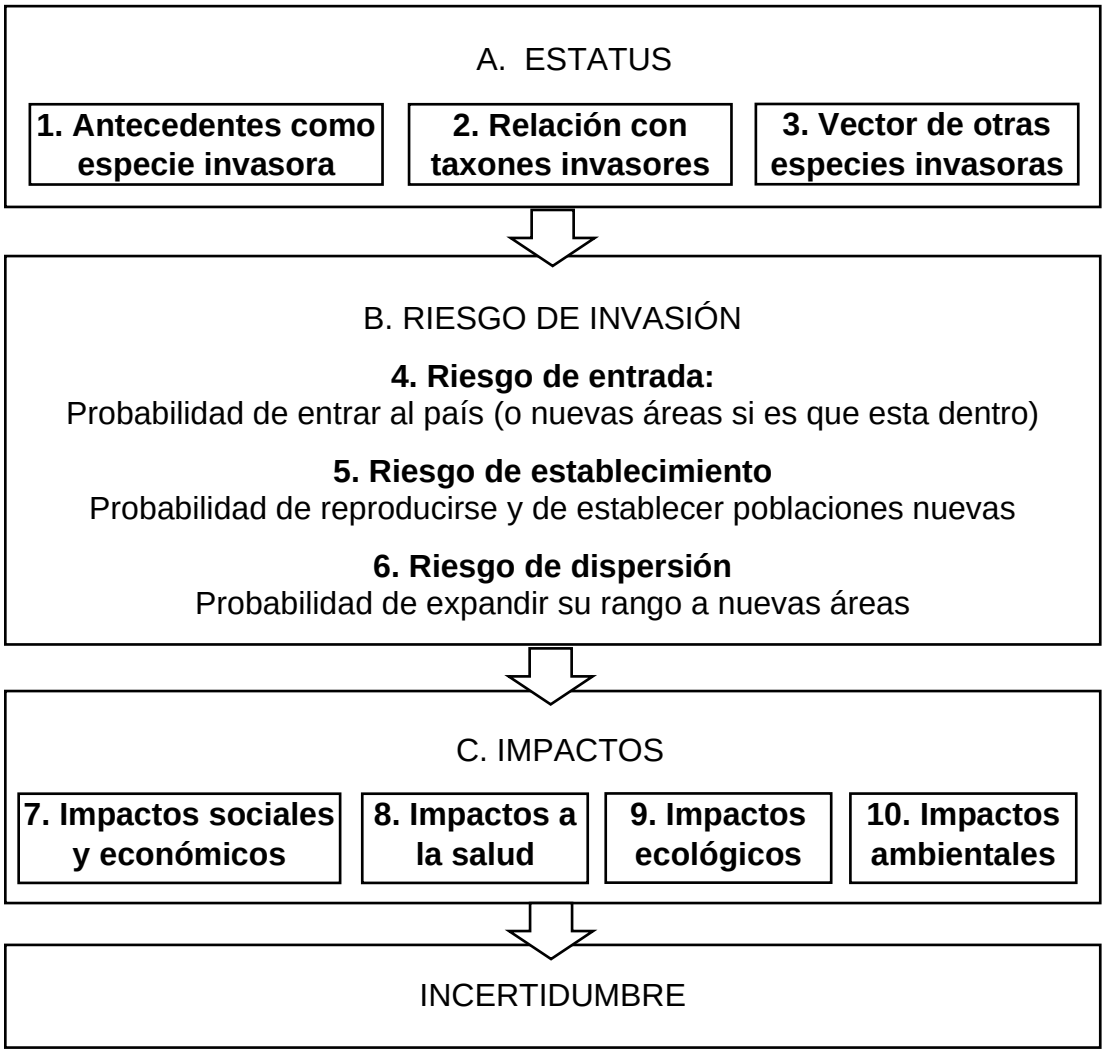

Figura 1.12 Esquema de representación general de las 10 preguntas que forman el Método de evaluación rápida de Invasividad.
Fuente: Born-Schmidt, et al., (2017).

d) Estatus

Esta sección examina los antecedentes de la especie. Si se refiere a una especie invasora, si está relacionada taxonómicamente con otras especies que han sido catalogadas como invasoras o si puede ser vector de especies invasoras, es decir, si

tiene el potencial de transportar otras especies invasoras como patógenos o parásitos.

e) Riesgos

En esta sección se evalúan los riesgos que presenta la especie en cuanto a introducción, establecimiento, y dispersión, se toma en cuenta la existencia de medidas preventivas existentes para evitar cualquiera de estos movimientos.

f) Impactos

Se evalúan los diferentes tipos de impactos que se han documentado para la especie: sanitarios, económicos, ambientales y ecológicos. Los impactos sanitarios son aquellos que afectan a la salud humana o vegetal. Los impactos económicos y sociales incluyen incrementos de costos de actividades productivas, daños a la infraestructura y pérdidas económicas. Los impactos ambientales hacen referencia a cambios físicos y químicos en el agua, suelo, aire y luz. Por último, los impactos ecológicos, son los impactos a otras especies, ecosistemas y comunidades.

Tabla 1.5 Valores de incertidumbre que se deben asignar a cada pregunta dependiendo de la fuente de información asociada.

Incertidumbre	Tipos de fuente de información
Mínima	Fuentes de información como: - Libros o artículos científicos o técnicos que han pasado por procesos de revisión - Publicaciones oficiales - Información de especialistas
Baja	- Bases de datos de información especializada - Documentos científicos o técnicos no publicados
Media	- Documento científico técnico sin aprobación editorial - Publicaciones de aficionado especialista - Bases de datos no revisados por pares
Alta	- Información contradictoria - Fuentes de baja calidad (blogs o foros) - Basada en información de otras especies del mismo genero
Máxima	- Falta de evidencia - Solo hay una fuente de mala calidad

Fuente: CINABIO, (2015).

1.5 FACTORES DE INFLUENCIA DE CRECIMIENTO DEL JACINTO DE AGUA (*E. crassipes*)

Los factores que influyen en el crecimiento del jacinto de agua *(E. crassipes)* tienen que ver tanto del ambiente en el que se encuentre y en los factores bioquímicos que pueden ser agregados al medio, la planta se distribuye desde los 38º Latitud Norte hasta los 38º Latitud Sur, lo cual representa un alto rango de temperatura incluyendo regiones tropicales, subtropicales y templadas, se encuentra tanto en aguas altamente alcalinas como ácidas. Sin embargo, en medios neutros se presenta de forma más numerosa. La posición de la hoja también varía dependiendo de la especie y condiciones ambientales (Ganuza y Argueta, 2012).

1.5.1 Factores Ambientales (Mella, 2005)

La profundidad a la cual alcanza la intensidad límite y la calidad de penetración de la luz para determinada profundidad está dada por: color del agua (debido a la disolución de materia orgánica derivada del sustrato), medio receptor o residuos polutantes, concentración de partículas orgánicas suspendidas traídas por efluentes contaminados que varían con la turbulencia y el flujo, concentración de fito y zooplancton que varía según la estación.

El agua absorbe principalmente longitudes de ondas del infrarrojo y ultravioleta, mientras que los solutos orgánicos causan una rápida atenuación del azul violeta y ultravioleta. La cubierta de las plantas acuáticas (hidrófitas) vasculares absorben mucho la luz roja y azul e incrementan la proporción del amarillo-verde penetrado a baja profundidad. Para el caso de *E. crassipes*, se ha estimado que la eficiencia de conversión fotosintética alcanza el 4 % y requiere un nivel de luz mínima de 5.3 w m-2 para sobrevivir.

La temperatura es una de las limitaciones más significativa en el crecimiento de *E. crassipes.* Este vegetal no resiste temperaturas frías, debido que temperaturas de congelamiento matan el tallo y las hojas. Esto produce una reducción en peso que hace emerger al rizoma a la superficie, donde se hace más vulnerable, lo que en últimas instancias destruye completamente la planta. Se ha encontrado que el rango óptimo de temperatura para el crecimiento de *E. crassipes* en condiciones ambientales controladas es de 25 a 27 º C, aunque se observa algún crecimiento a 10 º C, el cual cesa sobre los 35 º C, y produciéndose la muerte de la planta en condiciones de helada.

1.5.2 Factores Bioquímicos

Cuando hay escasez de elementos fertilizantes, se inhibe el crecimiento de la planta. Por el contrario, en abundancia de nutrientes, la planta se desarrolla a su máximo límite, adquiriendo un intenso color azul-verdoso (Barrientos, 2009).

El jacinto de agua *(E. crassipes)* extrae todos sus nutrientes directamente del agua. Absorbe metales pesados, contaminantes orgánicos y nutrientes de la columna de agua. Comprende 95% de agua y 5% de materia seca, de los cuales 50% es sílice, 30% de potasio, 15% de nitrógeno y 5% de proteína. La absorción de nitrógeno por el jacinto de agua *(E. crassipes)* es de 5 a 10 veces más rápida que el fósforo. Se sabe que prospera bien en aguas dulces enriquecidas con nutrientes en zonas climáticas tropicales (Degaga, 2018). Por lo que para poder conseguir un gran crecimiento la planta necesita absorber grandes cantidades de fósforo y nitrógeno. Esta capacidad aumenta con la edad y tamaño de la planta, el pH óptimo es de entre 5.5 y 9.0 (Mella, 2005).

Cuando se encuentra en aguas poco profundas y oxigenadas, presenta hojas muy pequeñas 1que sólo alcanzan largos de 8 cm, mientras que en plantas bien aireadas, especialmente en aguas de flujo continuo, las hojas alcanzan los 125 cm de longitud. El sistema de raíces de *E. crassipes*, representa entre un 20 y 50 % de la biomasa de la planta, la cual dependerá de la estación y del hábitat. El sistema de raíces consta de raíces principales, cubierta por raíces laterales que funcionan como anclaje y además de preservar la estabilidad del rosetón. Al igual que todo órgano sumergido, las raíces deben tener un suministro adecuado de oxígeno disuelto. De esta manera el oxígeno consumido alcanza el tejido interior por difusión a través del gradiente de concentración en la epidermis, pero este suministro puede ser suplementado por difusión desde los sitios de fotosíntesis en el follaje (Mella, 2005).

1.6 MÉTODOS DE CONTROL DE JACINTO DE AGUA (*E. crassipes*)

El jacinto de agua *(E. crassipes)* es extremadamente difícil de erradicar una vez establecido, el objetivo de la mayoría de los esfuerzos de gestión es minimizar los costos económicos y el cambio ecológico. (Degaga, 2018). Los métodos de control mecánico, químico y biológico se usan comúnmente para controlar el jacinto de agua *(E. crassipes)*, pero ningún método es adecuado para todas las situaciones. Para cada método existen ventajas y desventajas y, en última instancia, la elección

de un método de control debe basarse en las condiciones específicas del sitio, incluido el tamaño y la configuración espacial del área a controlar (Villamagna A. M., 2009), así como el alcance de la infestación de jacintos de agua *(E. crassipes)*, el clima regional y proximidad a humanos y vida silvestre de las zonas aledañas usos designados del cuerpo de agua y restricciones presupuestarias (Degaga, 2018).

Comprender el momento en el que el jacinto de agua *(E. crassipes)* comienza a afectar los ecosistemas, la sociedad y las economías locales ayudará a establecer objetivos de gestión para el control de la población que puedan maximizar los beneficios sociales y minimizar los costos de las especies invasoras (Degaga, 2018). Según el mejor método para controlar el jacinto de agua *(E. crassipes)* es evitar que ingrese a un cuerpo de agua y de ser el caso, cuando este ya se encuentre dentro del cuerpo de agua, la remoción manual puede ser una opción al inicio incluso hay personas que ven la posibilidad de crear empleos para gente que se encargaría de recoger las plantas, pero para una planta como el jacinto de agua *(E. crassipes)* que tiene una alta intensidad de propagación no es recomendable, (Labrada, 2016). En países como Colombo, Sri Lanka, hay canales que cuando terminan de remover la yerba, hay que comenzar de nuevo, lo cual no es rentable. Otra vía es la creación de ensenadas de la planta, que se transportan a un embarcadero con ayuda de lanchas remolcadoras. La productividad aquí es superior, pero con efectos a corto plazo (Jiménez, 2004).

Una solución más sostenible para controlar el jacinto de agua *(E. crassipes)* serían los planes de reducción de nutrientes a gran escala; sin embargo, esto requeriría cambios y regulaciones de uso de la tierra a gran escala que son inherentemente difíciles, costosos y políticamente complicados.
En las siguientes secciones, discutimos los tres métodos de control dominantes, las consecuencias ecológicas de cada uno, y proporcionamos casos como ejemplos.

1.6.1 Remoción mecánica

El control o remoción mecánica es una solución más productiva que la manual, para ello se necesita principalmente de dinero para comprar una máquina realmente eficiente. En general, no hay restricciones de uso de agua asociadas con el control mecánico y no requiere mucha experiencia técnica para su aplicación (Villamagna A. M., 2009). La remoción mecánica como la manual no evita el rebrote del jacinto de agua *(E. crassipes)*, pero si mantiene un control eficiente si se hace con regularidad, lo que implica un coste económico más alto.

El control mecánico puede ser utilizado para plantas de cosecha y en corte in situ. Existen varias ventajas y desventajas para implementar una estrategia de control

mecánico dependiendo de la opción elegida, el principal problema es encontrar la maquinaria apropiada para hacerlo, hay máquinas en venta que no caminan ni diez pulgadas cuando la infestación del jacinto de agua *(E. crassipes)* es elevada (Labrada, 2016).

El control mecánico usando una cortadora o una trituradora no es recomendable ya que la fragmentación puede acelerar la difusión de las plantas y así agravar el problema. Las cosechadoras mecánicas pueden remover las plantas y prevenir el rebrote. Existen varios fabricantes de equipos de cosecha de plantas acuáticas, como el mostrado en la Figura 1.13 de la marca JULONG, pero en todos los casos el concepto del diseño es similar: cuchillas rotativas, recolectoras de vegetación y transportadoras hacia la orilla. El alto costo entre 60,000 hasta 200,000 mil dólares y su eficiencia con una lenta tasa de remoción (una máquina con depósito grande, en condiciones ideales, cosecha 0,5-1 ha/día), la fragmentación (que puede acelerar la subida de las semillas a la superficie) y la liberación de hidrocarbonos contaminantes, serán muy costosos, y en algunos casos problemas perpetuos (Jiménez, 2004), además, cuando los niveles de infestación son altos, la planta es capaz de crear un sustrato sobre la cual crecerán otras plantas, que no son propiamente acuáticas por lo que se deben tener en consideración (Labrada, 2016).

Figura 1.13 Barco de corte de malezas acuáticas modelo JLGC-200.
Fuente: JULONG, (2019).

Por otro lado, las partes muertas de la planta se descomponen en el agua y hacen decrecer el oxígeno en el agua. Si la incorporación de esta materia orgánica al agua es grande, provocaría la muerte de los peces, disminuir el oxígeno disuelto y alterar

la estructura trófica como resultado de los cambios en los equilibrios de nutrientes y carbono (Greenfield, Blankinship, & Mcnabb, 2006), estas condiciones bajas de oxígeno disuelto catalizan las liberaciones de fósforo del sedimento acelerando la eutrofización, lo que puede conducir a un aumento posterior en la floración de jacinto de agua *(E. crassipes)* o algas (Villamagna A. M., 2009).

Otra desventaja con este método es que el jacinto de agua *(E. crassipes)* se compone de aproximadamente 90% de agua, lo que lo hace muy pesado para transportar y, si bien esta es una caída en corte in situ, la cosecha de la planta puede ser costosa y logísticamente difícil. La eliminación del jacinto de agua *(E. crassipes)* de los cuerpos de agua contaminados también se convierte en una consideración ecológica y de salud importante debido a su capacidad para absorber contaminantes y, en algunos casos, el costo de un área de eliminación fuera del sitio puede ser más costoso que el proceso de eliminación en sí (Villamagna A. M., 2009).

En conclusión, el control mecánico puede no ser rentable para grandes áreas cuando se requieren costosos equipos de corte o dragado. Su principal ventaja es que el control mecánico abre inmediatamente el espacio físico (hábitat) para peces, tráfico de botes, pesca y recreación, por lo que es recomendable para mantener actividades económicas y turísticas a flote mientras se busca una solución permanente o con mayor durabilidad.

En Brasil se utilizó la eliminación mecánica del jacinto de agua *(E. crassipes)* de los reservorios (dentro del rango nativo), la transparencia del agua y el oxígeno disuelto disminuyeron, mientras que el pH, la biomasa total de fósforo, fitoplancton y cianobacterias es decir, Mycrocystis spp, aumentó, el reservorio brasileño quedó dominado por las cianobacterias.

La disminución de las concentraciones de oxígeno disuelto se relacionó con la descomposición en masa de fitoplancton y cianobacterias después de las floraciones. Por el contrario, la recolección mecánica de jacinto de agua *(E. crassipes)* de una laguna australiana resultó en un aumento repentino del oxígeno disuelto, lo que posiblemente se debió al aumento de la entrada de agua a la laguna (Villamagna A. M., 2009).

En El Salvador, ante la imposibilidad de navegación y pesca, se utiliza en muchas zonas barcazas recolectoras de la ninfa acuática, la cual ha resultado ser la opción menos invasiva y un poco más efectiva, pero aun así su discontinuo control no permite obtener resultados satisfactorios (La Gaceta Suchitoto , 2019).

1.6.2 Remoción química

El control químico se considera menos intensivo en mano de obra y menos costosos que el control mecánico, especialmente a gran escala, en el caso de infestaciones severas, convirtiéndose en un método ágil y efectivo para manejar el jacinto de agua *(E. crassipes)*. Puede cubrir grandes áreas en cortos períodos de tiempo, el principal problema radica en que los herbicidas pueden ser costosos, por lo que el costo del plan químico dependerá en gran medida del equipo utilizado para administrar el herbicida (por ejemplo, pulverizador de mochila, helicóptero o hidrodeslizador) (Villamagna & Murphy, 2009), además que las aplicaciones deben ser repetidas anualmente debido al hecho que una vez que se han removido las plantas la penetración de la luz aumenta, favoreciendo la germinación de las semillas del jacinto de agua *(E. crassipes)* y con ello la consecuente reinfestación (Jiménez, 2004).

Los tres herbicidas comúnmente usados como herbicidas acuáticos son el 2,4-D (2,4-dichlorophenoxy), diquat (6,7-dihydrodipyridol [1,2 alfa:2',1'-c] pyrazinediumion y glifosato (isopropilamine salt of N-phosphonomethyl glycine). Para su uso es necesario contar con la aprobación de las agencias de protección vegetal y deben ser aplicados estrictamente por técnicos especialmente entrenados (Jiménez, 2004).

1.6.2.1 2,4- D (2,4-dichlorophenoxy)

La formulación del 2,4-D incluye la forma de éster granular (butoxyathylester: BEE) para usar en malezas sumergidas y la formulación líquida dimethylamina (DMA) para malezas emergidas como el jacinto de agua *(E. crassipes)*. El 2,4-D es un herbicida sistémico (Jiménez, 2004), utilizado para matar las malezas de hoja ancha con poco daño a los cultivos de hierba. Es un regulador del crecimiento de las plantas e imita la hormona natural del crecimiento de las plantas, la auxina. A diferencia de las auxinas, el 2,4-D se mantiene en niveles altos dentro de los tejidos vegetales en lugar de fluctuar. Como resultado, causa un rápido crecimiento celular y las plantas mueren cuando sus sistemas de transporte se bloquean y destruyen por un crecimiento anormalmente rápido. Aunque el 2,4-D se aplica normalmente a las hojas de una planta, también puede ser absorbido a través de las raíces y los tallos. La vida media del 2,4-D en el suelo es de aproximadamente 1-2 semanas y 1-3 semanas en agua (Beyondpesticidesorg, 2004).

A pesar de los esfuerzos de la industria que afirman la seguridad de este producto químico, existe una gran cantidad de evidencia que indica los principales efectos sobre la salud, desde el cáncer hasta la inmunosupresión, el daño reproductivo a la

neurotoxicidad. También se ha demostrado la contaminación ambiental, particularmente en los humedales (Sierra Club of Canada, 2005).

i. **Efectos en la salud** (Sierra Club of Canada, 2005)

En mamíferos, el 2,4-D interrumpe la producción de energía, agotando el cuerpo de su molécula de energía primaria, ATP (trifosfato de adenosina). Se ha demostrado que el 2,4-D causa mutaciones celulares que pueden provocar cáncer. Este mutágeno contiene dioxinas, un grupo de sustancias químicas que se sabe que son peligrosas para la salud humana y el medio ambiente. Numerosos estudios epidemiológicos han relacionado el 2,4-D con el linfoma no Hodgkin (NHL) entre los agricultores. Los estudios multicéntricos en Canadá y en Suecia de miembros del público en general encontraron un 30% más de probabilidades de exposición al 2,4-D entre las personas con NHL.

Los trabajadores que aplican herbicidas fenoxi clorados con frecuencia tienen trastornos del sistema nervioso, están expuestos a un mayor riesgo de sarcoma de tejidos blandos y muestran síntomas de irregularidades hormonales y de órganos internos. Se alienta a los trabajadores agrícolas al uso de protector solar, sin embargo, estudios han demostrado que el uso de protector solar aumenta las tasas de penetración de 2,4-D en la piel. Uno de estos estudios encontró que los protectores solares aumentan la penetración de 2,4-D en más del 60 por ciento, desde una penetración promedio de 54.9% a 86.9%.

ii. **Efectos ambientales** (Sierra Club of Canada, 2005)

Desafortunadamente, el herbicida no afecta solo a las malezas objetivo. Puede causar bajas tasas de crecimiento, problemas reproductivos, cambios en la apariencia o el comportamiento, o la muerte de especies no objetivo. Debido al uso generalizado de 2,4-D en tierras agrícolas, los efectos ambientales de este uso están surgiendo en estudios científicos. Se han encontrado pesticidas agrícolas en humedales, y 2,4 D fue el pesticida más comúnmente detectado. Aunque sus concentraciones en los humedales excedieron las pautas en menos del 1% de los humedales, estas pautas se crean de forma aislada, sin tener en cuenta los efectos sinérgicos de los pesticidas.

Se ha demostrado que el 2,4-D tiene impactos negativos en varios grupos de animales. En las aves, la exposición al 2,4-D reduce el éxito de la eclosión y causa defectos de nacimiento. También afecta indirectamente a las aves al destruir su hábitat y fuente de alimento. La toxicidad del 2,4-D para los peces es variable, y la forma de éster del 2,4-D expresa una mayor toxicidad que otras formas. También se ha demostrado que el 2,4-D se bioacumula en peces. Un producto del proceso

de descomposición del 2,4-D es el 2,4-diclororofenol. Este químico es extremadamente tóxico para las lombrices de tierra, 15 veces más tóxico que el 2,4-D. Los insectos beneficiosos han reducido la fecundidad cuando están expuestos al 2,4-D. El uso de 2,4-D ha tenido efectos drásticos tanto para los animales agrícolas como para los animales salvajes, incluida la muerte del ganado y los caballos que pastan las plantas tratadas.

1.6.2.2 Diquat (6,7-dihydrodipyridol [1,2 alfa:2',1'-c] pyrazinediumion)

Diquat es un herbicida no selectivo utilizado en gran medida en la agricultura para el combate de la maleza. Junto con el paraquat, tiene una elevada toxicidad al ser humano y las intoxicaciones por esta sustancia requieren un alto grado de conocimientos técnicos para su manejo adecuado. Las formulaciones de diquat, para un uso adecuado sobre malezas acuáticas macrófitas son sales líquidas de bromide. Diquat es rápidamente absorbido por el follaje y hojas con poca traslocación vía xilema. (1-2 horas), genera superóxido durante la fotosíntesis que daña las membranas celulares y el citoplasma causando una rápida inactivación de las células y las funciones celulares por medio de la liberación de oxidantes (Jiménez, 2004).

Efectos a la salud

El diquat no es teratogénico ni cancerígeno. La exposición ocupacional al diquat no representa un riesgo para la salud si se siguen las recomendaciones de uso y se cumplen las prácticas de trabajo seguras. Se ha observado inflamación y sangrado de la mucosa nasal en personas que manipulan polvo de diquat cristalino en el laboratorio o en condiciones de campo. Los efectos por exposición prolongada de este herbicida incluyen nerviosismo, irritabilidad, inquietud, combatividad, desorientación, declaraciones sin sentido, incapacidad de reconocer a amigos o miembros de la familia y disminución de los reflejos, en trabajadores agrícolas, se ha informado inflamación y sangrado de la mucosa nasal, así como cambios en las uñas y retraso en la cicatrización de heridas. Los efectos neurológicos pueden progresar hasta el coma, ir acompañados de convulsiones tónico-clónicas y resultar en la muerte del paciente. También se ha informado el Parkinsonismo después de una exposición dérmica al diquat (World Health Organization (WHO), 1984).

Wojeck y col. (1983) estudiaron la exposición de los trabajadores que aplicaban 1.76% de diquat mediante pulverización manual contra jacinto de agua *(E. crassipes)* o mediante inyección directa de 4.41% de mezcla de pulverización en el agua para el control de la planta. Los equipos de pulverización aplicaron diquat 2 - 5 h diarias durante 4 días a la semana. Se encontró que la exposición inhalatoria fue <0.01 mg / h. Se estimó que la exposición dérmica de los rociadores y los conductores de los hidrodeslizadores era de 1.82 y 0.20 mg de diquat / h, durante

el tratamiento del jacinto de agua *(E. crassipes)*. Las exposiciones dérmicas de los pulverizadores y el mezclador de diquat para el tratamiento de jacinto de agua *(E. crassipes)* fueron de 0.17 y 0.47 mg / h, respectivamente. Los resultados del análisis de orina de todos los trabajadores involucrados en el estudio fueron negativos (<0.047 mg / litro).

i. Efectos ambientales (World Health Organization (WHO), 1984)

El diquat no parece tener ninguna influencia significativa en la actividad microbiana normal que es importante para la fertilidad del suelo. Tampoco hay evidencia de que las tasas de aplicación recomendadas para diquat conduzcan a efectos residuales en el crecimiento de los cultivos. Además, el diquat fuertemente adsorbido en el suelo no se reactiva en una forma biológicamente activa, por lo que, en la práctica, el derrame accidental es probablemente la única causa de niveles locales altos de fitotoxicidad del herbicida residual.

En agua estática, concentraciones iniciales de diquat de 0.5 - 1.0 mg/litro disminuyen rápidamente a 0.1-0.3 mg/litro después de 4-7 días, esta rápida pérdida de diquat de las aguas tratadas se debe a la rápida absorción por parte de las malezas acuáticas, además la pérdida de diquat de las aguas tratadas se debe a la fotodegradación en la superficie del agua y a la adsorción por el lodo del fondo, por lo que el diquat presenta mayor potencial para uso en fuentes de agua potable. La toxicidad del diquat para los peces varía según la especie, el tamaño del pez y la suavidad o dureza del agua, pero aplicado a las tasas utilizadas para el control de malezas acuáticas, no afecta a la fauna estuarina, las ostras, los camarones, los insectos de agua, u organismos alimentarios de peces, la toxicidad del diquat para los peces es baja, y el principal riesgo para los organismos acuáticos y los peces por su uso como herbicida acuático es la disminución de la concentración de oxígeno después de la descomposición de las malezas.

1.6.2.3 Glifosato (isopropilamine salt of N-phosphonomethyl glycine)

El glifosato es un herbicida sistémico no selectivo que se absorbe rápidamente por las hojas y a través del simplasto. Todas las plantas pueden ser eliminadas después de tres semanas. El glifosato tiene una baja toxicidad y una rápida descomposición en el agua (Jiménez, 2004).

Es muy resistente a la degradación debido al enlace C-P (Carbono Fósforo) inerte en la molécula (Chekan, Cogan & Nair, 2016). Sin embargo, se descompone en material vegetal muerto y en el suelo por varios microorganismos; el primer producto de su descomposición a menudo es el ácido aminometilfosfónico (AMPA, por sus siglas en inglés) (Vilca, Angeles, Quiróz, y Cuba, 2018).

Debido al uso intensivo a gran escala, se acumula en el medioambiente y en productos comestibles, en los últimos años han surgido preocupaciones sobre los efectos secundarios dañinos del glifosato y AMPA para la calidad del suelo, agua y la salud de las plantas, animales y humanos (Vilca et al, 2018).

i. **Efectos a la salud** (Cortina et al., 2017)

Aunque los efectos tóxicos son controversiales, puesto que la toxicidad de una sustancia compuesta únicamente por glifosato es limitada, la verdadera toxicidad es causada por el surfactante, siendo el más común la amina polietoxilada (POEA) que desacopla elementos de la fosforilación oxidativa, provocando estrés oxidativo y produce cardiotoxicidad directa. Según la literatura publicada en los últimos años, se ha demostrado que la manipulación de glifosato por la población campesina es insegura. Algunos experimentos in vitro han demostrado citotoxicidad y genotoxicidad luego de la exposición a glifosato, de allí la asociación que se le atribuye con el cáncer. En el aspecto clínico, la morbilidad se establece por manifestaciones de múltiples órganos con síntomas respiratorios, gastrointestinales, neuromusculares, dérmicos, psicológicos, fiebre, conjuntivitis, mareo, malestar general, entre otros que varían dependiendo del tiempo de exposición o la dosis ingerida.

ii. **Efectos ambientales** (Vilca et al, 2018)

Las formulaciones de glifosato con polioxietileno amina (POEA) son generalmente más tóxicas que las que no tienen este surfactante, el glifosato daña las neuronas motoras primarias en el pez cebra dando como resultado movimientos anormales a una edad temprana, la exposición de carpas de agua dulce (*Cyprinus carpio*) a niveles más altos de glifosato, aún por debajo del rango de aplicaciones comerciales produce cambios inducidos en las células hepáticas y las mitocondrias. el glifosato puede afectar las interacciones entre los peces y sus patógenos o parásitos, lo que puede provocar cambios inesperados en las comunidades acuáticas. También se ha identificado que afecta varias especies de microalgas, bacterias acuáticas y protozoos Los modos de acción en los microorganismos acuáticos son similares a los de las plantas y microorganismos terrestres: el glifosato afecta la síntesis de aminoácidos aromáticos, la producción de clorofila, la fotosíntesis y la respiración.

1.6.2.4 Ejemplos de aplicación

Se han introducido planes de control químico en varios lugares del mundo, después del control mecánico y la aplicación de Diquat y 2, 4-D amine a un reservorio mexicano, las algas, el pH y el oxígeno disuelto aumentaron, también hubo aumentos en las algas, el pH y el oxígeno disuelto después de la aplicación de herbicidas al jacinto de agua *(E. crassipes)* en condiciones de laboratorio. Un

programa de control químico en un arroyo nigeriano produjo un aumento significativo en la abundancia de peces 14 días después del tratamiento. Se supuso que el aumento era el resultado de la eliminación de barreras vegetales para el movimiento de peces. Sin embargo, no todas las especies de peces experimentaron un aumento significativo de la población después del tratamiento, lo que sugiere que otros factores también influyeron en la distribución de los peces. Una consideración final con la implementación del control químico son las restricciones de uso de agua que pueden ser requeridas por la ley después de la pulverización de herbicidas. El control químico puede tener importantes impactos socioeconómicos si se ven afectados los usos beneficiosos o designados del cuerpo de agua (Villamagna & Murphy, 2009).

En El Salvador se experimentó en la Laguna de Chalchuapa, El Salvador, para la erradicación por métodos químicos del jacinto de agua *(E. crassipes)*. Los herbicidas utilizados fueron 2,4-D amino y reglón en diversas dosis, separadamente y en combinación. La tasa de 3,4 kg/ha de 2,4-D amino dio un control favorable, pero se reportó regeneración de algunas plantas tratadas después de seis semanas de la aplicación. El tratamiento económico más efectivo fue de 2,4-D amino con una tasa de aplicación de 6,7 kg/ha. Aunque el tratamiento con reglón es efectivo, al ser más caro que el de 2,4-D amino podría no ser económicamente factible su uso a largo plazo (Bayne & Butter, 1977).

1.6.3 Remoción biológica

El control biológico se basa en el uso de enemigos naturales de la maleza que limitan su desarrollo. El control biológico del jacinto de agua *(E. crassipes)* comenzó en la década de 1960 y produjo las estrategias clásicas de control que comprenden la importación de enemigos naturales de las zonas de origen de la maleza. El control biológico requiere tiempo para la evaluación de su impacto, pero una vez que se ha establecido, las poblaciones permanecen en el lugar y de esta manera el costo a largo plazo del manejo de la maleza es más bajo que con otras medidas de control; además, es más respetuoso del ambiente (Jiménez, 2004).

La investigación sobre el uso de agentes biológicos para el control del jacinto de agua *(E. crassipes)* incluye artrópodos y patógenos. En el caso de los artrópodos, se han encontrado unos pocos insectos que reducen el crecimiento del jacinto de agua *(E. crassipes)* en forma significativa. Las siguientes especies se han considerado de interés para introducir en otros países:

El ácaro *Orthogalumna terebrantis* Wallwork; las *polillas Acigona infusella* y *Samoedes albiguttalis*; el miridio *Eccritotarsus catarinensis*; los gorgojos *Neochetina*

eichhorniae Warner y *Neochetina bruchi*. Estas dos últimas especies son los agentes que han dado los mejores resultados cuando se utilizaron dentro de un programa de control integrado. Sin embargo, su impacto ha sido variable (Jiménez, 2004), mientras que en los patógenos tenemos los hongos *Cercospora piaropi* y *Acremonium zonatum*, los cuales han dado alentadores resultados, y los autores han informado de un control completo, pero en áreas donde hay fluctuaciones de temperatura, los insectos deben reintroducirse cada nueva temporada. Además, los ecosistemas de humedales son entidades complejas, por lo tanto, los insectos introducidos pueden competir con otras especies de insectos nativos, disminuyendo así la biodiversidad (Bhattacharya & Kumar, 2010).

Solo en unos pocos casos se ha informado de resultados exitosos con la utilización de insectos. La eficacia de estos artrópodos mencionados no alcanza el nivel esperado a causa de factores como la aplicación imprudente de herbicidas, para el caso de *S. albiguttalis* son necesarias plantas jóvenes en crecimiento activo para su buen establecimiento, en el caso de *Neochetina spp.* la calidad de las plantas podría tener influencia sobre la abundancia de *Neochetina*, las poblaciones de gorgojos se incrementan lentamente y, por lo tanto, su densidad es muy baja para un control satisfactorio. Además, estos insectos tienen ciclos biológicos relativamente largos (66-75 días para *N. bruchi* y 96-120 días para *N. eichhorniae*). El aumento de la población es lento comparado con la rápida tasa de crecimiento de la maleza (una planta se reproduce cada 7-10 días), por lo tanto, la reproducción de la planta es mucho más rápida que el daño causado por los gorgojos (Jiménez, 2004).

En el caso de *E. catarinensis* y *O. terebrantis* estos insectos han sido liberados en pocos países; además, se ha observado que causan un menor impacto. Además de las dificultades relacionadas con el establecimiento de los insectos, el jacinto de agua *(E. crassipes)* es una especie candidata para un control biológico exitoso, para lo cual se debe tomar en consideración controlar las posibles enfermedades de los insectos antes y después de su liberación, determinar su capacidad reproductiva; mantener una liberación continua de insectos; liberar nuevos eco tipos de insectos; interpretar los factores que afectan la población de insectos que regulan y mantienen poblaciones de una consistencia importante (Jiménez, 2004).

1.7 MÉTODOS DE MANEJO DEL JACINTO DE AGUA (*E. crassipes*)

A lo largo de los años se han realizado investigaciones y planteado diferentes alternativas para el aprovechamiento del jacinto de agua *(E. crassipes)* tanto a nivel internacional como a nivel nacional. A nivel nacional, el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) junto con la Agencia de Desarrollo Económico Local (ADEL Chalatenango) y el Fondo de Iniciativa para las Américas El Salvador (FIAES) presentan en noviembre del 2014 el documento "Investigación de la Caracterización del jacinto de agua *Eichhornia crassipes* del humedal Cerrón Grande, para determinar su aprovechamiento como materia prima en la elaboración de productos, agroindustriales, industriales o artesanales" en donde proponen aprovechar el jacinto de agua *(E. crassipes)* para la generación de gas mediante biodigestores, elaboración de abono orgánico, compost o bio abono, papel vegetal, tableros aglomerados en fibra y cemento, productos de mueblería, cordelería y textil, describiendo el proceso productivo a seguir para la elaboración de estos (MARN/FIAES/ADEL Chalatenango, 2014).

1.7.1 Alternativas del uso del jacinto de agua (*E. crassipes*)

El jacinto de agua *(E. crassipes)* es una planta acuática de alta proliferación, por lo cual en lugar de verla como una amenaza o como una planta invasora, debemos de verla como una oportunidad y adaptarla a diferentes usos. A continuación, se describen diferentes alternativas de aprovechamiento del jacinto de agua *(E. crassipes)*, como materia prima.

1.7.1.1 Abono orgánico, Compost o Bio abono

Se denomina abono orgánico a todo material vegetal o animal que sufre una biotransformación a través del tiempo por acción de los microorganismos. Se puede elaborar a partir de cualquier tipo de materiales vegetales o animales, dependiendo su utilización final. La calidad nutricional de un abono orgánico no se mide solamente por su capacidad de aportar nutrientes directamente sino en la medida en que pueda promover los nutrientes del suelo (Jerves, 2012).

El abono de una planta debe estar formado por sales minerales solubles en agua, ya que éstas son las únicas asimilables a través de las raíces. Si el contenido de materias nutritivas es muy bajo, el compost no sirve como fertilizador. En el caso inverso, puede ocurrir una sobre fertilización que puede lixiviar el suelo a largo plazo y que puede causar graves daños a las aguas subterráneas (Barrientos, 2009).

La necesidad de disminuir la dependencia de productos químicos artificiales en los distintos cultivos está obligando a la búsqueda de alternativas fiables y sostenibles. En la agricultura ecológica, se le da gran importancia a este tipo de abonos, y cada vez más, se están utilizando en cultivos intensivos (Barrientos, 2009). El jacinto de agua *(E. crassipes)* se ha investigado ampliamente como una alternativa para la producción de abono orgánico, el objetivo de estas investigaciones es proponer métodos que sean eficientes y atractivos económicamente para su producción, dando resultados favorables.

La elaboración de abono orgánico, compost o bio abono es el segundo producto propuesto por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) en el documento *"Investigación de la Caracterización del Jacinto de Agua Eichhornia crassipes del humedal Cerrón Grande, para determinar su aprovechamiento como materia prima en la elaboración de productos, agroindustriales, industriales o artesanales"* (2014), donde se recomendó utilizar la técnica de compostaje.

El compostaje es un proceso biológico en el cual las materias orgánicas se transforman en tierra de humus (abono orgánico) por medio de microorganismos. De tal manera que sean aseguradas las condiciones necesarias (especialmente temperatura, tasa C/N, aireación y humedad) (Barrientos, 2009).

i. Procedimiento para para producción de abono orgánico, compost o bio abono

Una vez seleccionado el jacinto de agua *(E. crassipes)* por utilizar hay que tener en cuenta el tamaño de estos. No deben sobrepasar los 10 cm de tamaño. Para ello, se triturará con un machete o hacha, en su defecto, tijeras para podar. Cuanto menor sea el tamaño, la velocidad de descomposición será mayor. Además, se consigue que la labor de descomposición para los microorganismos sea menos costosa y duradera. Si el tamaño de los materiales es demasiado grande (mayor a 10 cm de largo y 4 cm de diámetro) el proceso de compostaje puede suponer muchos meses de duración (Barrientos, 2009).
Si se ocupa una picadora, se debe reducir su tamaño en fragmentos no mayores a 10 mm para los más blandos y menores a 5 mm para los más consistentes (MARN,2014). Pero no debe pasarse primero por molino el jacinto de agua *(E. crassipes)* en "crudo", pretendiendo luego procesarlo como compost, lo cual está totalmente contraindicado por la dificultad. Lo mejor es molerlo cuando esté medio seco o triturarlo manualmente con machete (Barrientos, 2009).

El procesamiento del jacinto de agua (*E. crassipes*) se compone de dos fases; la fase de descomposición y la fase de maduración. La fase de descomposición se ve

afectada por el contenido de humedad de la materia prima, si esta posee poca humedad el proceso de degradación será lento, mientras que si presenta un exceso de humedad se deben mezclar otros materiales ricos en nitrógeno como rastrojos de frijol y leguminosas, o enriquecer con ceniza o estiércol de ganado para lograr la descomposición anaeróbica característica del compostaje, controlándose la humedad para evitar la proliferación de bacterias anaeróbicas y hongos que, además de desprender malos olores convierten la materia orgánica en productos no adecuados para el suelo, por lo cual se recomienda repetir los análisis de humedad para el jacinto de agua *(E. crassipes)* (MARN,2014).

Barrientos propone el siguiente control del contenido de humedad el cual se debe realizar cada semana y para ello se aplica el siguiente procedimiento:

- **a)** Tomar con la mano una muestra de material.
- **b)** Cerrar la mano y apretar fuertemente el mismo.
- **c)** Si con esta operación se verifica que sale un hilo de agua continuo del material, entonces se puede establecer que el material contiene más de un 40% de humedad, por lo que es necesario más tiempo de descomposición.
- **d)** Si no se produce un hilo continuo de agua y el material gotea intermitentemente, podemos establecer que su contenido en humedad es cercano al 40%.
- **e)** Si el material no gotea y cuando se abre el puño permanece moldeado, se estima que la humedad se presenta entre un 20 a 30 %.
- **f)** Finalmente, si se abre el puño y el material se disgrega, es decir, si salen 2 - 5 gotas de agua, se asume que el material contiene una humedad inferior al 20 %. El compostaje está listo.

La etapa de descomposición es la biológicamente más activa debido a la gran liberación de energía y el fuerte consumo de oxígeno, en esta etapa se consumen los componentes más degradables, mientras que los biopolímeros más complejos, como la celulosa y la lignina se transforman parcialmente convirtiéndose en las moléculas base en la etapa de maduración para la construcción de compuestos estables similares a las sustancias húmicas del suelo (MARN, 2014).
La fase de maduración consiste en generar macromoléculas muy complejas, en esta fase las moléculas de celulosa y lignina se combinan entre ellas y se enriquecen en nitrógeno al incorporar en NH_3 producido anteriormente. Al final de esta etapa, parte del nitrógeno amoniacal se convierte en nitrato, el cual mejora las características agrícolas del compost, además la temperatura ambiental oscurece el material, que apenas desprende olor debido a las diferentes transformaciones que se llevan a cabo a lo largo del proceso (MARN, 2014).

Una vez finalizado el proceso productivo se debe extraer el producto generado, almacenándose en lugares que guarden sus características nutritivas. Dos o tres meses después de la aplicación, se obtiene un suelo rico orgánicamente y fibroso, el alto contenido de nutrientes, aireación única y cualidades de drenaje aumenta en gran medida el rendimiento de los cultivos en los suelos enmendados, que a su vez ayudará a erradicar la planta acuática invasiva (MARN, 2014).

ii. Consideraciones a tener en cuenta:

En la etapa de descomposición se deben controlar cuidadosamente las condiciones de trabajo para evitar problemas como:

a) Temperaturas excesivas: se recomienda ventilar, remover o regar el material si es necesario para evitar el aumento excesivo de la temperatura y en consecuencia la inhibición, disminución de la actividad microbiana, o secado del material por el calor.

b) Perdidas innecesarias de nitrógeno en forma de amonio (NH_3) para la investigación del MARN se estimó entre el 0.68 - 0.83% se transforma en formas amoniacales, que se pueden perder debido a las condiciones de humedad, temperatura y del régimen de ventilación establecido.

Para conocer las características de este abono producido es necesario medir los niveles de carbono, nitrógeno, relación carbono/nitrógeno, concentración de amonio, conductividad eléctrica, coliformes fecales, salmonella sp, humedad y pH, por lo que cada una de las muestras debe ser llevada a analizarlas, determinando así que abono fue el cumple con las mejores condiciones fisicoquímicas y por lo tanto el diseño que mejor rendimiento cumple (Jerves, 2012).

Otro parámetro muy importante es el contenido de metales pesados. Si se aplica un compost con alto contenido de metales pesados al suelo, los metales pesados pasan a las aguas subterráneas y a las plantas cultivadas en esa área. Los metales pesados ingeridos por seres humanos o animales aumentan considerablemente el riesgo de enfermedades graves, como el cáncer (Barrientos, 2009)

iii. Herramientas utilizadas durante el proceso (Barrientos, 2009)

Las herramientas que son utilizadas en el proceso de compostaje son las siguientes:

a) Rastrillo, para sacar el jacinto de agua (E. crassipes) de la laguna

b) Báscula o pesa, para pesar el jacinto de agua (E. crassipes) que se saca de cada área

c) Machete, hacha o tijera de podar, para triturar manualmente el jacinto de agua (E. crassipes), se puede utilizar un molino manual o un molino de combustible.
d) Herramientas de volteo: pala, horca, paleta. Estos utensilios nos permiten voltear el montón e introducir los materiales.
e) Plástico negro, para ubicar el compostaje y cubrirlo en caso de lluvia.
f) Otros utensilios útiles: tijeras de podar, saco para guardar el compost hecho.
g) Agua para humedecer el jacinto de agua (E. crassipes), en época de lluvia puede utilizarse ésta para el compostaje.
h) Termómetro para tomar la temperatura.

1.7.1.2 Biocarbón / Carbón activado

El biocarbón es un material sólido obtenido de la conversión termoquímica de biomasa en un entorno con oxigeno limitado, puede ser producido a partir de diferentes materias primas, como biomasa de madera, estiércol animal, residuos de cultivos y residuos sólidos. Entre sus principales propiedades está el área superficial específica grande, estructura porosa, grupos funcionales de superficie enriquecida y composición mineral, por lo cual puede utilizarse como adsorbente para eliminación de contaminantes en soluciones acuosas, secuestro de carbono y mejora del suelo (Runjuan Zhou, Ming Zhang, Jinhong Zhou & Jinpeng Wang, 2019).

Existen diferentes métodos termoquímicos para la obtención de biocarbón entre los cuales se encuentran la pirólisis lenta, pirólisis rápida, carbonización hidrotérmica, torrefacción y gasificación. Se ha demostrado que en la pirolisis las condiciones de temperatura de calentamiento, el tiempo de calentamiento y la velocidad de calentamiento son los factores más importantes en la preparación del biocarbón, la temperatura de calentamiento influye en el rendimiento, el área de superficie, el volumen de poro, la composición elemental y el valor calorífico, los grupos funcionales y el rendimiento de biocarbón disminuyen al aumentar la temperatura de calentamiento, el tiempo de residencia afecta la composición del producto, las áreas de superficie y las características de los poros, mientras que la velocidad de calentamiento afecta los rendimientos, el costo fijo y de operación (Runjuan Zhou et al, 2019).

Rajeshwari Sivaraj, R.Venckatesh, Gowri & G.Sangeetha (2010) estudiaron la capacidad del carbón activado preparado a partir de jacinto de agua *(E. crassipes)* para eliminar los tintes Reactivo Magenta B y Reactivo Azul Turquesa de soluciones acuosas.

i. Procedimiento para la preparación del carbón activado

El proceso de elaboración de carbón activado presentado por (Rajeshwari Sivaraj et al, 2010) consiste en recolectar el jacinto de agua *(E. crassipes)*, cortarlo en trozos pequeños y secar con luz solar para eliminar la humedad, después de secar materia prima, se deposita en recipientes de cobre y se cobre con una tapa ajusta para evitar el contacto con el aire atmosférico y se coloca en un horno de mufla a 180°C durante 1 hora, finalmente se deja enfriar, se saca y se almacena en recipientes de plástico.

ii. Consideraciones a tener en cuenta

Los resultados obtenidos por (Rajeshwari Sivaraj et al, 2010) muestran que el carbón activado proveniente del jacinto de agua (*E. crassipes*) puede utilizarse como adsorbente en lugar de floculantes convencionales como el alumbre y el cloruro férrico, sugieren, además, que la eliminación de tintes a través de la técnica de adsorción depende de la velocidad de agitación, concentración y el pH, ya que se observó que al aumentar la concentración del tinte, el porcentaje de eliminación de tinte disminuyó, mientras que la cantidad de colorante absorbido/unidad de peso del adsorbente aumentó, la velocidad de eliminación de los colorantes aumentó a medida que aumenta la velocidad de agitación, lo cual puede atribuirse a la disminución del grosor de la capa de difusión que rodea las partículas adsorbentes.

iii. Herramientas utilizadas durante el proceso

Las herramientas a utilizar durante el proceso de la elaboración del carbón activado según (Rajeshwari Sivaraj et al, 2010) son:

a) Recipientes de cobre con tapa ajustada
b) Recipientes de plástico
c) Horno mufla.

1.7.1.3 Biocombustible solido

Biomasa es toda aquella materia derivada directa o indirectamente de la fotosíntesis de las plantas, y puede ser de dos tipos: biomasa virgen que se divide en terrestre y acuática y biomasa residual que se divide en residuos municipales, solidos agrícolas, forestales e industriales. La gran importancia de los recursos biomásicos radica en que además de generar electricidad, también se puede generar energía térmica, mecánica y combustible. (Rodríguez Meléndez, A. G., Colmenares Mestizo, F. A., Barragán Vega, J. C. y Mayorga Betancourt, M. A., 2017).

El aprovechamiento energético de la biomasa presenta limitaciones, siendo la principal de ella la baja densidad de los materias, lo cual genera problemas de

almacenamiento, transporte, entre otros. Para evitar esto, se procede a compactar materia biomásica y convertirla en briquetas o pellets (Da C. B. D'Agua, J. A., Pereira, R. G. & Marinho, F. J. V., 2015). Las briquetas, al ser más densas, desprenden más energía que al quemar biomasa normal, entre las razones para el desarrollo a nivel industrial de estas, está la eficiencia de aprovechamiento energético, el ahorro que supone en lugar de aplicar diversos tipos de combustión dependiendo del material (Rodríguez Meléndez, A. G. et al, 2017).

Vélez, F., Aguirre, N., González, E., Osorio, Y., Marín, N. y Atehortua, E. (2013) evaluaron las plantas acuáticas *Eichhornia crassipes, E. azurea y E.heterosperma* y la cascarilla de arroz como materia prima para el desarrollo de un biocombustible sólido, mediante la caracterización morfológica, química y térmica, usando técnicas de análisis químico elemental, análisis de mercurio total por espectroscopia de absorción atómica, análisis termo gravimétrico, análisis de microscopia óptica, poder calórico y porcentaje de ceniza y humedad. Se determinaron las condiciones de humedad, presión de compactación y tamaño de partícula adecuado para obtener un biocombustible, a través de la evaluación del comportamiento de las materias primas en el proceso de presando. Concluyendo que es posible desarrollar biocombustible solido a partir de comprimidos de biomasa que permitan aumentar de manera sistemática la densidad y las propiedades termodinámicas de las especies acuáticas y materiales vegetales con alto contenido orgánico.

Solis Cordero, E. M. y Vásquez Inca, G. A. (2019) evaluaron el potencial energético del jacinto de agua (*E. crassipes*) a través de un proceso de peletización, realizando variaciones en cuanto a la composición y dimensionamiento de estos mismos**.**

Posteriormente se seleccionó la combinación más adecuada de jacinto de agua *(E. crassipes)* la cual se combinó con cascaras de plátano verde como material aglomerante, variando su proporción, la compresión de la materia prima previamente adecuada se utilizó una matriz de 8 mm y 6mm de diámetro, la cual permitió trabajar con variaciones de configuración de la geometría del pellet. Los pellets obtenidos se evaluaron de forma física y química y se determinó que la configuración de pellets más factible con respecto a la mayor eficiencia energética fue el pellet de 6 mm de diámetro y de composición 100% hojas de jacinto de agua *(E. crassipes)* cuyo poder calorífico fue de 15.87 MJ/kg, por lo que se concluyó que no es necesaria la adición de material aglutinante (Solis Cordero, E. M. et al, 2019).

Echeverri Gil, J. S. (2006) presentó una investigación con el diseño de una maquina prensadora para hacer briquetas de biomasa de jacinto de agua (*E. crassipes*) acompañado de pruebas de experimentación, en donde concluyó que el factor más

importante en la elaboración de briquetas de biomasa es el porcentaje de agua del material, el cual está directamente relacionado con la calidad de estas.

i. Procedimiento para producción de pellets o briquetas

El proceso de preparación de briquetas a partir de jacinto de agua *(E. crassipes)* presentado por Rodríguez Meléndez, A. G. et al (2017) consiste en un proceso de secado al sol durante 7 días, un proceso de molienda y mezcla con residuos en donde se reduce hasta en un 50% su volumen, posteriormente presan manualmente a 20 t, obteniendo briquetas de 0.5 cm de alto y 4.7 cm de diámetro.

Por otra parte, Da C. B. D'Agua, et al (2015) presentan un proceso más completo del proceso de briquetado, el cual considera etapas previas como la eliminación de materiales indeseados, reducción granulométrica y secado. Recomendando, para el proceso de trituración, el uso de una licuadora industrial Metvisa modelo LQ-15 - 15 L, con potencia del motor de 1,1 kW y velocidad de rotación del espiral máxima de 3450, para para reducir el tamaño del material y obtener así una mejor homogeneidad, para el proceso de secado se utiliza convección forzada con aire a 70°C durante 24 horas y finalmente para la elaboración de las briquetas se emplea una máquina de ensayo EMIC con capacidad de 0 a 120.000 kgf para el proceso de densificación.

El proceso de densificación presentado por Solis Cordero, E. M. et al (2019) consiste en la recolección y selección de la materia prima, para lo cual se toman solo las partes de la planta que se utilizarán (tallos y hojas) y se reduce el tamaño con tijeras para agilizar el proceso de secado, un proceso de pre secado bajo luz solar durante 23 ± 4 días, posteriormente se introduce en un secador de bandejas a 69 ± 1°C durante una hora, para poder disminuir humedad en un porcentaje menor al 15%, después de secar la materia prima, se realiza un proceso de molienda para reducir el tamaño de las partículas, para lo cual se recomienda el uso de un molino de bolas, el cual permite la compactación de la materia prima sin afectar sus propiedades físicas y químicas, con un tiempo de retención en el molino de 23 ± 2 min, se realiza un proceso de tamizado, para separar las partículas con un tamaño superior a 1 mm y luego se combina con cascaras de plátano verde el cual cumple la función de aglomerante, finalmente, se comprime la biomasa en pequeños cilindros con el diámetro y la longitud deseada. En la Figura 1.14 se muestra el proceso de Solís Cordero et al. (2019) para la producción de pellets de jacinto de agua *(E. crassipes).*

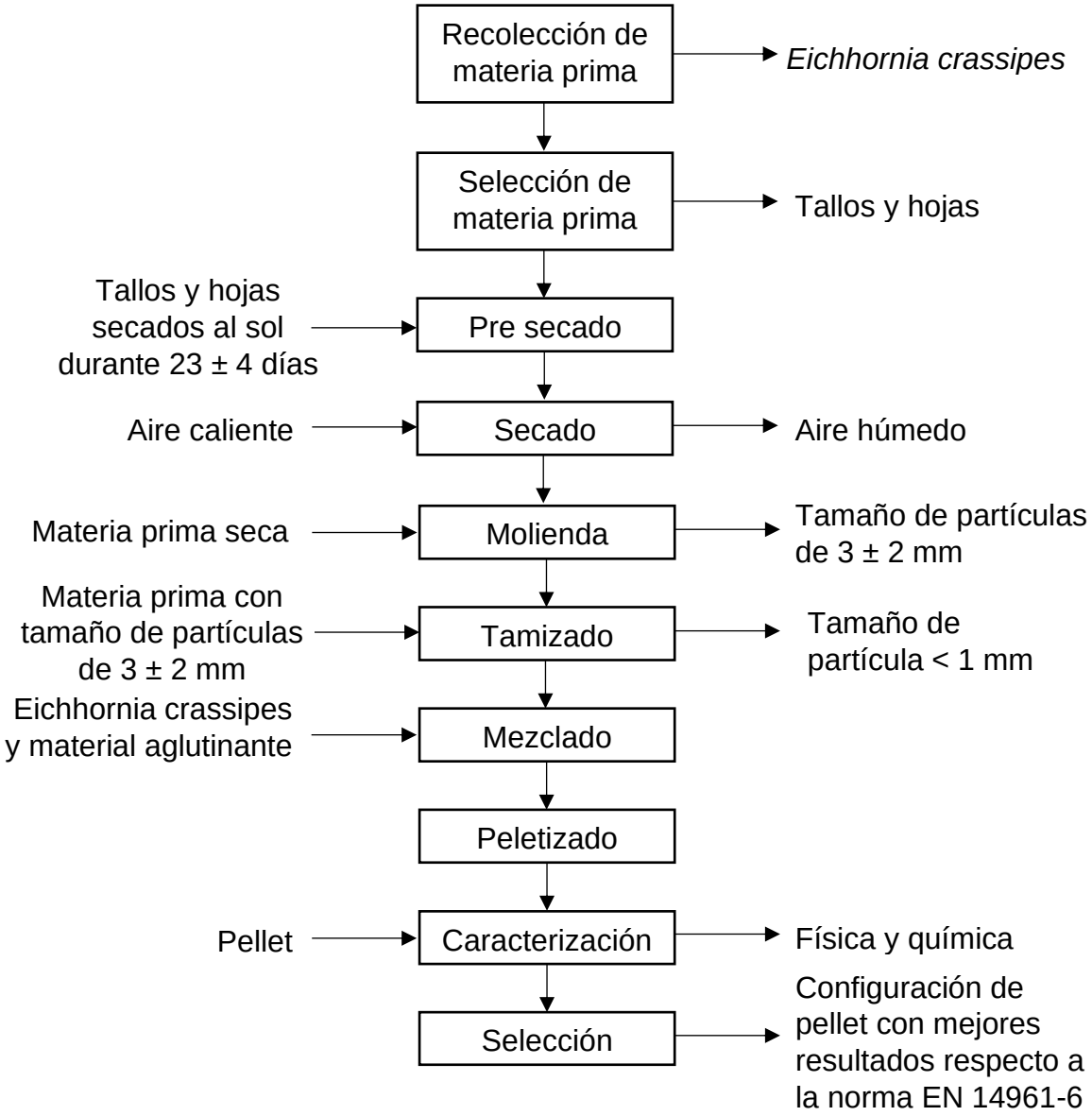

Figura 1.14 Diagrama correspondiente al proceso de peletización del jacinto de agua (*E. crassipes*).

Fuente: Solis Cordero et al., (2019).

ii. Consideraciones a tener en cuenta

Vélez, F. et al (2013) mencionan que debido a la presencia de mercurio encontrada en las plantas acuáticas es necesario el diseño de un sistema de combustión que permita condensar o recuperar el metal.

Las pruebas realizadas por Da C. B. D'Agua, et al (2015) demostraron que la fuerza de compactación la densidad aparente aumenta, mientras que el grado de esbeltez

disminuye. Se demostró, además, que para el proceso de preparación de las briquetas no fue necesario el uso de calentamiento o aglutinantes.

En el proceso de peletización los parámetros a controlar son la presión y temperatura que alcanza el pellet durante el proceso, al igual que el porcentaje de humedad y el tamaño de partícula de la biomasa a trabajar, es importante recalcar que se debe controlar el porcentaje de humedad antes y después del proceso de secado Solis Cordero, E. M. et al (2019).

iii. Herramientas utilizadas durante el proceso

Solis Cordero, E. M. et al (2019) realizan el proceso de secado mediante un secador de bandejas, mientras que Da C. B. D'Agua, et al (2015) utilizan un proceso de secado por convección forzada.

Para el proceso de molienda de la materia prima Solis Cordero, E. M. et al (2019) recomiendan el uso de un molino de bolas, por otra parte Da C. B. D'Agua, et al (2015) recomiendan el uso de una licuadora industrial Metvisa modelo LQ-15 - 15 Litros, con potencia del motor de 1,1 kW.

Solis Cordero, E. M. et al (2019) realizan el proceso de compresión de la materia prima con una peletizadora manual con una matriz de 8 mm y 6 mm de diámetro, mientras que Da C. B. D'Agua, et al (2019) emplean una máquina de ensayo EMIC con capacidad de 0 a 120.000 kgf.

1.7.1.4 Bioetanol

Se denomina bioetanol a todo aquel que es obtenido de la biomasa vegetal, miles y jugos con un contenido alto en sacarosa de fibras azucaradas, productos ricos en almidón y a partir de materiales lignocelulosas. Cualquier material que contenga azucares o hidratos de carbono fermentable, celulosa o hemicelulosa, pueden servir como materia prima para la obtención del etanol (Jimenez,2018).

Se han realizado diferentes investigaciones del aprovechamiento del jacinto de agua (*E. crassipes*) para la producción de bioetanol, como lo es la investigación "*Producción de bioetanol a partir de jacinto de agua (Eichhornia crassipes) respecto a otros materiales lignocelulósicos"* (Villalba, K. O y Ríos, L. A., 2012) se realizó una comparación entre el jacinto de agua *(E. crassipes)* y otros materiales lignocelulósicos en la producción de bioetanol. Concluyendo que se puede considerar al jacinto de agua (*E. crassipes*) como un excelente candidato para la producción de bio combustibles, ya que resultados preliminares realizados sobre su composición y su

comportamiento ante la biotransformación a etanol mostraron que es susceptible de ser utilizado para este fin.

En la investigación "*Proceso de producción de bioetanol, a partir de la biomasa hidrolizada de la Eichhornia crassipes con la levadura (Saccharomyces cerevisiae)"* (Jiménez Fonseca, 2018) se modelaron y ajustaron los parámetros de un sistema de producción de bioetanol a partir de la biomasa de jacinto de agua *(E. crassipes)*.

Jiménez Fonseca (2018) observó que todo el sustrato hidrolizado fue consumido y generando así un incremento de 6 veces en los microorganismos iniciales. Por otra parte, las cantidades de sustrato e inoculo fermentador que se utilizaron se muestran viables, generando un consumo de glucosa en un tiempo de 6.96 horas en el birreactor. Controló y manejó todas las variables de inherentes en los procesos de hidrolisis y fermentación. Sin embargo, recomienda la realización de nuevas investigaciones variando las cantidades de sustrato y de inoculo fermentador con el fin de establecer las condiciones óptimas para la producción de bioetanol.

Terán Guerrero y Solorzano Solís (2013) presentaron la investigación *"Obtención de bioetanol del jacinto de agua (Eichhornia crassipes) proveniente del Embalse Sixto Durán Ballen mediante proceso enzimático*", la cual tenía como finalidad la obtención de bioetanol a partir de jacinto de agua *(E. crassipes)* procedente del embalse Sixto Duran Vallen sometiendo la materia prima a un pretratamiento de físico e hidrolizándola con el microorganismo *Trichoderma Arzzianun* durante 840 horas y fermentándola con el microorganismo *Saccharomyces cereviceae* durante 360 horas. Finalmente lograron obtener un máximo de 16 G° de alcohol a partir de la planta acuática mediante el proceso enzimático.

i. Procedimiento para la producción de Bioetanol

Luego de recolectar la cantidad de Eichhornia Crassipes utilizada como sustrato para el proceso de producción de bioetanol se debe llevar a una bodega o recinto donde pueda estar expuesta al sol para su secado, se coloca el jacinto de agua *(E. crassipes)* en una superficie plana y mediante luz natural durante un tiempo de 45 días se realiza la fase de secado (Jimenes, 2018).

Para acondicionar la biomasa es posible que deban ser empleados pretratamientos mecánicos para la reducción de tamaños de partículas y aumento de la superficie de contacto, encaminados a mejorar la interacción con catalizadores. Sin embargo, estas tecnologías van encaminadas a la búsqueda de mecanismos de bajo consumo energético (Villalba y Rios,2012). Para este proceso se puede hacer uso de un molino tradicional para grano, el jacinto de agua (*E. crassipes*) se introduce en el molino en proporciones mínimas por la parte superior del mismo y se va

moliendo gradualmente hasta que la muestra es triturada en su totalidad y luego se utilizara un tamiz para el proceso de tamizado (Jimenez,2018).

a) Hidrolisis

El procedimiento que se explica en este apartado es el de Eshtiaghi, Yoswathana, Kuldiloke y Ebadi en su artículo “Preliminary study for bioconversion of water hyacinth (Eichhornia crassipes) to bioethanol” (2012). En el cual se encontró que el pretratamiento con ácido y el posterior tratamiento con enzimas aumentaron drásticamente la conversión total de lignocelulosa en azúcar, comparado con el pretratamiento alcalino-enzimático. Se pudo observar hasta un 30% de azúcar (en base a WH seco) después del pretratamiento ácido (3% p / p de ácido) para retirar la lignocelulosa que recubre la pared de la planta.

Para la hidrolisis acida, por cada 10 gramos de biomasa seca de jacinto de agua *(E. crassipes)* se mezcla con 3% (p / p) de solución de ácido sulfúrico hasta un volumen final de 100 ml. Las muestras se vierten en una botella de pyrex y se cierra la tapa. Después de eso, la mezcla se esteriliza en una autoclave a 121 ° C durante 15 minutos y se enfría aún más a temperatura ambiente. El hidrolizado se filtra usando una toalla para hacer quesos o mantilla, esto para eliminar las partes sólidas (no digeridas) del material. El filtrado se recoge y se somete a análisis del contenido de azúcar.

Para la hidrolisis enzimática la biomasa pretratada con ácido (concentración de ácido sulfúrico al 3%) se neutraliza utilizando álcali. Después de eso, se añade a una mezcla enzimática de 0,8% p / p (en base WH seco). La mezcla enzimática utilizada puede consistir en 5 enzimas diferentes Crystalzyme 200 XL, Celluclast 1.5 LFG, Alcalasa 2.5 LDX, Validase ANC-L y Xilanasa. Estas 5 enzimas en una relación 1: 1: 1: 1: 1 en la mezcla de enzimas. El pH y la temperatura óptimos de estas enzimas estan entre 3.5 a 5.5 y 45 a 65 ° C respectivamente. El volumen de las enzimas se ajusta a 100 ml sin añadir tampón y se incuba en un baño de agua a 55 ° C durante 12 h. Después de esto, se filtra a través de una gasa. El filtrado se recoge y se somete a análisis del contenido de azúcar. La pulpa restante se somete al segundo tratamiento enzimático como se describió anteriormente. Después del segundo tratamiento enzimático, se filtra nuevamente con una gasa. La fase líquida del segundo y primer tratamiento enzimático se somete a medición de azúcar.

b) Fermentación

Eshtiaghi et al (2012) Sugieren que para la etapa de fermentación se utilice la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. La biomasa pretratada con ácido (ácido al 3%) y enzima posterior (enzima al 0,8% p / p en base a WH seco), se mezcla con aproximadamente 0,2 g de levadura seca granular (*S. cerevisiae*) por cada 50 ml de

biomasa pretratada en condiciones estériles. El recuento inicial de levadura en las muestras de fermentación debe ser aproximado a 2 a 8 x 10 8 UFC. La fermentación se realiza a 30 ° C sin agitación y en la oscuridad durante un máximo de 6 días. Al comienzo y cada 3 días, se tomarán aproximadamente 15 ml de muestra para medir el contenido de etanol, así como para determinar el azúcar restante en la muestra.

ii. Consideraciones a tener en cuenta

La biomasa pretratada y sin pretratar de jacinto de agua *(E. crassipes)* se debe someter a una caracterización fisicoquímica siguiendo protocolos especiales, determinándose parámetros como cenizas y humedad (Ospino, K., Gómez, E. y Ríos, L. 2020)

En general, los métodos de pretratamiento se pueden clasificar en tres categorías, que incluyen los físicos, químicos, biológicos y combinaciones de éstas. Para la aplicación de pretratamientos físicos no se hace uso de agentes químicos y se pueden mencionar algunos como la explosión de vapor no catalizada, pretratamiento con agua líquida caliente, trituración mecánica y radiación de alta energía. **(**Villalba y Rios,2012).

Los tratamientos químicos son para delignificar y liberar polisacáridos y azúcares de materiales lignocelulósicos. Se incluyen aquellos denominados pretratamientos fisicoquímicos, que combinan métodos físicos y químicos. Estos particularmente suelen ser los más eficientes y competitivos en términos económicos frente a los métodos biológicos y físicos. Como uno de los principales pretratamientos químicos que se encuentran son de tipo alcalino, los cuales implican el uso de bases, tales como sodio, potasio, calcio e hidróxido amonio. El mecanismo de acción de estos agentes químicos consiste en la degradación de cadenas de ésteres y glucosídicas, lo que desencadena la alteración estructural de la lignina, de la estructura cristalina de la celulosa y solvatación de la hemicelulosa **(**Villalba y Rios,2012).

El tratamiento biológico se refiere al uso de organismos completos o enzimas en el pretratamiento de biomasa lignocelulósica. Para esto son usados tanto los hongos, como las bacterias. Actualmente se trabaja principalmente en residuos agrícolas para el mejoramiento de su digestibilidad. Existen reportes de trabajos con microorganismos como *Aspergillus terreus, TrichodermaSpp., Cyathusstercoreus, Penicilliumcamemberti, Streptomycesgriseus* y enzimas como peroxidasa, manganasa, lacasa, entre otros. Estos métodos requieren largos tiempos de residencia **(**Villalba y Rios,2012).

1.7.1.5 Biogás

Un biodigestor es un deposito cerrado y hermetico en el cual se adicionan desechos organicos de origen vegetal o animal y a su vez materia que segregue microorganismos bacterianos anaerobicos, dentro de una solución con agua, generando una mezcla de alto contenido de gas metano combinado con trazas de otros gases, conocido comunmente como biogás. Además de un subproducto liquido con un alto contenido de nutrientes ricos en fosforo, nitrogeno, potasio, entre otros, denominado bioabono o biol. El biogas obtenido se puede utilizar para la coccion de algunos alimentos o para iluminación a nivel domiciliar a traves de un mechero de busen que permita regular la entrada aire-biogas.

El biogás lo constituye una mezcla de gases y su composición depende del tipo de residuo orgánico utilizando para su producción y de las condiciones que se procesa. En la tabla 1.6 se muestra la composición química de un biogás de buena calidad realizado en un estudio por Botero B. y Preston R., (1987).

Tabla 1.6 Composición química del biogás.

Componentes	Fórmula química	%
Metano	CH_4	60 - 70
Gas carbónico	CO_2	30 - 40
Hidrógeno	H_2	1.0
Nitrógeno	N_2	0.5
Monóxido de carbono	CO_2	0.1
Oxigeno	O_2	0.1
Ácido sulfídrico	H_2S	0.1

Fuente: Botero B. y Preston R., (1987).

Con relación al uso del jacinto de agua *(E. crassipes)* para la producción de biogás, puede presentarse como una solución al problema que presenta esta planta invasora y reducir la proliferación de esta planta, transformándola en bioproductos energéticos.

i. **Procedimiento para producción de biogás a partir de la biomasa obtenida del jacinto de agua *(E. crassipes)*.**

En cuanto al proceso de obtención, Montero Aquino, Tapia Molina y Cárdenas Murillo, (2010), sugiere en su investigación "*Diseño, construcción y puesta en marcha de un biodigestor con biomasa obtenida del jacinto de agua (Eichhornia crassipes)"*, seguir 4 etapas: Recolección y Manejo, Secado, Operación y Análisis. La etapa de recolección y manejo se realizó en el parque El Lago ubicado en Km. 26 vía Guayaquil – Salinas, Ecuador. Posteriormente, el secado se realizó de forma

natural, a fin de remover aproximadamente un 75% de humedad en la planta. Durante la operación se formó un lecho de aserrín para fijar los microorganismos, para luego proceder la alimentación del biodigestor. Por último, el análisis, en donde se realizó un seguimiento durante las diferentes etapas de digestión (Hidrólisis, Acetanogénesis, Acidogénesis, Metanogénesis) a través de parámetros como pH, temperatura, DQO, conductividad, Solidos Disueltos Totales, voltaje, voltaje relativo y resistividad, se determinó que el porcentaje de producción de metano (CH_4) a partir de jacinto de agua *(E. crassipes)* es de 43.33% y se considera óptimo. De acuerdo con el porcentaje obtenido se concluye que el jacinto de agua *(E. crassipes)* es un tipo viable de biomasa para la obtención de energía, además de darle un uso favorable para el medio ambiente.

En El Salvador, la generacion de gas mediante biodigestores es el primer uso propuesto por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) en el documento *"Investigación de la Caracterización del Jacinto de Agua Eichhornia crassipes del humedal Cerrón Grande, para determinar su aprovechamiento como materia prima en la elaboración de productos, agroindustriales, industriales o artesanales"* (2014). Para el desarrollo de este producto se recomendó utilizar un biodigestor de bidón o tanque de polietileno con capacidad entre 120 y 220 litros, para que así faciliten la obtención de los productos. Se planteó instalar previamente las conexiones, mangueras, válvula de seguridad, depósito de biogás y quemador para poder utilizar el biodigestor, así como también revisión de las conexiones para evitar cualquier posible fuga o entrada de aire al sistema. Posteriormente se colocaron, dentro de una picadora los tallos y hojas de plantas para reducir su volumen en fragmentos no mayores a 10 mm para los más blandos y menores a 5 mm para los más consistentes (principalmente tallos y hojas), se depositó el material triturado al interior del digestor llenándolo hasta el 75%, con la mezcla de jacinto de agua *(E. crassipes)* y un 25% de agua, a fin de dejar un espacio para la generación de biogás. Cada alimentación al biodigestor debe contener ser partes iguales de residuos orgánicos y volumen de agua.

ii. Consideraciones a tener en cuenta:

a) Es necesario mantener en pH en un rango de 6.5 a 7 para asegurar una generación optima de producción de biogás (Montero Aquino, Tapia Molina y Cárdenas Murillo, 2010).

b) Se requiere una temperatura entre 20 y 55°C, de lo contrario la reproducción bacteriana será deficiente. Un decrecimiento de la temperatura podría reducir la producción de metano (Guillén Watson, 2010)

Según MARN/FIAES/ADEL Chalatenango, (2014):

a) No se debe combinar el jacinto de agua *(E. crassipes)* con residuos como frutas cítricas, semillas o granos enteros, paja, tallos de cereales o virutas de madera por su difícil descomposición.

b) Los biodigestores se deben construir en el lugar en donde se van a utilizar permanentemente, ya que se debe considerar no moverlos por la presencia de gases.

c) Se debe tomar en cuenta las condiciones de temperatura entre los 20 y 60°C, la ausencia de oxígeno y un pH alrededor de siete

iii. Herramientas utilizadas durante el proceso

En el documento *"Investigación de la Caracterización del Jacinto de Agua Eichhornia crassipes del humedal Cerrón Grande, para determinar su aprovechamiento como materia prima en la elaboración de productos, agroindustriales, industriales o artesanales"* por MARN/FIAES/ADEL Chalatenango, (2014), para el desarrollo de este producto se utiliza un biodigestor de bidón o tanque de polietileno con capacidad entre 120 y 220 litros, conexiones, mangueras, válvula de seguridad, depósito de biogás y quemador para poder utilizar el biodigestor, así como también triturador para la materia prima.

1.7.1.6 Biohidrógeno

El biohidrógeno ha sido ampliamente reconocido como fuente de energía alternativa para sustituir los combustibles fósiles, este gas comprende un combustible limpio sin emisiones de dióxido de carbono y se puede utilizar en pilas de combustibles para la generación de energía (Castillo Pinzón, V. y Ramírez Munar, D. C., 2018).

El biohidrógeno se produce convencionalmente a partir de sustratos que contengan una gran cantidad de carbohidratos como la caña de azúcar, el almidón y el maíz, sin embargo, estos sustratos son materia prima comercial en el sector industrial alimentario, por lo cual el uso de estos genera un aumento significativo en el costo del biocombustible. Debido a esto, ha surgido interés en procesos de segunda generación, procesos que utilicen materias primas de bajo costo, materiales lignocelulósicos como bagazo de caña de azúcar, paja y maíz. La biomasa lignocelulósica, que contiene principalmente madera, pasto, malezas, productos agrícolas o cultivos, es un recurso ideal, económico, renovable y abundante para la producción de hidrógeno (Sakchai Pattra & Sureewan Sittijunda, 2017).

Chuang, Y. S., Lay, C. H., Sen, B., Chen, C. C., Gopalakrishnan K, Wud, J. H., Lin, C. S. & Lin, C. Y. (2011) estudiaron los efectos de la temperatura y la concentración

de sustrato sobre la producción de hidrogeno fermentativo a partir de jacinto de agua (*E. crassipes*) utilizando microflora de lechada de cerdo. Determinando que las condiciones óptimas de temperatura y concentración de jacinto de agua (*E. crassipes*) para la producción máxima de biohidrógeno son 62.5 °C y 47.8 g/L respectivamente.

Carreño Sayago, U. F. & Rodríguez, C. (2018) analizaron los procesos de producción de biohidrógeno y bioetanol a partir de jacinto de agua (*E. crassipes*) a escala piloto de laboratorio, desarrollaron un biorreactor para la hidrólisis de la biomasa seca de la planta acuática, y diseñaron dos biorreactores, uno para fermentación oscura y otro para fermentación con alcohol.

i. Procedimiento para la preparación de biohidrógeno

El proceso experimental presentado por Chuang, Y. S., Lay, C. H., Sen, B., Chen, C. C., Gopalakrishnan K, Wud, J. H., Lin, C. S. & Lin, C. Y (2011) consiste en recolectar el jacinto de agua (*E. crassipes*), secarlo al sol y pulverizarlo hasta un tamaño de malla de 0.8 mm, produciendo el biohidrógeno por lotes en botellas de suero con un volumen de 125 ml con espacio de cabeza anaeróbica, agregando 10 ml de inóculo, 40 ml de agua desionizada, 10 ml de solución de ajuste de pH (el cual puede ser HCl 1N o NaOH 1N) y polvo de jacinto de agua (*E. crassipes*) seco en un rango de 0.6 a 4.8 g por 60 ml, luego se purga el volumen de trabajo con gas argón y se sella con tapas de aluminio y se colocan en un agitador de baño de aire recíproco a 150 rpm.

Para obtener el biocombustible Carreño Sayago, U. F. & Rodríguez, C. (2018) primero llevan a cabo la hidrolisis del material lignocelulósico y luego realizan la producción del biohidrógeno. El biorreactor para la hidrólisis de la biomasa esta hecho de vidrio, con una capacidad de 5 litros, posee una tapa para la evolución de gas, muestreo de pH y temperatura, junto con un calentador de agitación magnética a 120 RPM a una temperatura de 60º C. El jacinto de agua *(E. crassipes)* se seca y se tritura, se mezcla con agua destilada e hidróxido de sodio (NaOH) 1% p/v a 60 °C durante 12 horas, posteriormente se lava con agua corriente hasta alcanzar el pH del agua, y se añade ácido sulfúrico (H_2SO_4) 3% v/v a 60 °C durante 12 horas y finalmente se lava con agua destilada hasta alcanzar un pH neutro. Para la producción del biohidrógeno utiliza un biorreactor de fermentación oscura a 30 °C, sellando herméticamente los septos de goma y tapones de aluminio, para garantizar la condición anaeróbica se purgan los orificios de las botellas con nitrógeno durante 5 minutos.

ii. Consideraciones a tener en cuenta

El proceso de fermentación anaerobia se ve fuertemente afectado por el cambio de temperatura, debido a la sensibilidad de los anaerobios a la temperatura de

operación, además, también se puede ver afectada la eficiencia de la utilización del sustrato, la actividad enzimática de la hidrogenasa, la distribución del producto metabólico soluble y la comunidad microbiana. Concentraciones de sustrato mayores podrían mejorar la eficiencia de producción de hidrogeno (Chuang, Y. S, et al., 2011).

iii. Herramientas utilizadas durante el proceso

Las principales herramientas utilizadas por Chuang, Y. S., et al., (2011) durante el proceso productivo son:

a) botellas de suero con un volumen de 125 ml
b) agitador de baño de aire recíproco

Las principales herramientas presentadas por Carreño Sayago, U. F. & Rodríguez, C. (2018) para la producción de biohidrógeno son:

a) biorreactor para la hidrólisis de la biomasa seca
b) biorreactores para fermentación oscura

1.7.1.7 Bioplástico

Los bioplásticos son un tipo de plásticos biodegradables de alto peso molecular obtenido a partir de materias primas orgánicas, llegando a ser biodegradables por microorganismos como bacterias, hongos, algas, entre otros. Se considera que estos presentan una solución para disminuir la contaminación ambiental por plásticos derivados de petróleo, ofreciendo la ventaja de preservar las fuentes de energía no renovables como lo es el petróleo y disminuir el problema cada vez más difícil del manejo de desechos (Pizá, H., Rolando, S., Ramírez, C., Villanueva, S. y Zapata, A., 2017).

Hosea, F. A. & Wibawa, K. L. (2018) realizaron una investigación con el fin de utilizar jacinto de agua *(E. crassipes)* como un aditivo en la base de bioplástico, contribuyendo así a la reducción de la contaminación plástica y al restablecimiento de la vida acuática, concluyendo que se puede crear plástico biodegradable al utilizar ingredientes naturales. Cada muestra se sometió a análisis en donde se determinó su peso máximo, elasticidad, módulo de Young y biodegradabilidad, esta última se determinó pesando la masa inicial de las muestras, y final después de enterrarla en suelo Hummus por 5 días. Observándose que todas las muestras pudieron biodegradarse naturalmente en suelo Humus (Hosea, F. A. & Wibawa, K. L., 2018).

Preethi, K., Vineetha & Mridul Umesh (2015) utilizaron el jacinto de agua *(E. crassipes)* como sustrato potencial para la producción de polihidroxialcanoato (PHA)

utilizando *Pseudomonas aeruginosa* como el organismo de fermentación. Se utilizó hidrolisis acida para descomponer los azucares complejos en hidrolizado de jacinto de agua *(E. crassipes)* para azucares reductores fácilmente fermentables, se empleó digestión con hipoclorito de sodio para lisis celulares y la posterior liberación del contenido intracelular de PHA de *Pseudomonas aeruginosa.*

Se utilizaron dos medios para la fermentación, jacinto de agua *(E. crassipes)* y caldo nutritivo modificado, en ambos casos, la máxima acumulación de PHA se observó en el tercer día, siendo mayor para el jacinto de agua *(E. crassipes)* con un rendimiento neto de 65.51% y 54.10% para el caldo nutritivo modificado (Preethi, K. et al, 2015).

Se realizó un estudio preliminar del producto obtenido mediante cromatografía de capa fina y ensayo de ácido protónico, mientras que el estudio detallado de los grupos funcionales presentes se realizó mediante FTIR, lo cual confirmó que es un bioplástico de acuerdo con los espectros IR estándar (Preethi, K. et al, 2015).

i. Procedimiento para para producción de tableros aglomerados

El proceso seguido por Hosea, F. A. & Wibawa, K. L. (2018) para utilizar jacinto de agua *(E. cra-ssipes)* como un aditivo en la base de bioplástico consiste en disolver 10 g de almidón de maíz en 60 ml de agua, adicionar 5 ml de ácido acético al 25% y 10 ml de glicerol y calentar a 180 °C agitando constantemente hasta obtener un componente espeso, posteriormente se agrega de 0 a 2 g de jacinto de agua (*E. crassipes*), se calienta dentro del horno a 100 ° C durante 30 minutos y se deja secar durante 120 horas.

El proceso seguido por Preethi, K. et al. (2015) para utilizar jacinto de agua *(E. cra-ssipes)* como sustrato potencial para la producción de polihidroxialcanoato (PHA), consiste inicialmente en recolectar hojas de jacinto de agua *(E. crassipes)*, lavarlas con agua varias veces para eliminar la suciedad, secar en un horno de aire caliente a 70°C durante 48 horas, moler en polvo fino y almacenar en un recipiente hermético a temperatura ambiente hasta su posterior análisis.

ii. Consideraciones a tener en cuenta

Los resultados obtenidos por Hosea, F. A. & Wibawa, K. L. (2018) demostraron que la muestra con la mayor cantidad de jacinto de agua *(E. crassipes)* presentó mayor peso y mayor biodegradabilidad, sin embargo, también presentó la menor elasticidad.

1.7.1.8 Carboximetilcelulosa

La carboximetilcelulosa es una sal que se caracteriza por ser soluble en agua, por disolverse en azúcares, y por tener una alta viscosidad en solución. Se utiliza ampliamente, según su grado de pureza, en detergentes, adhesivos, pinturas, y plásticos, en la industria farmacéutica, papelera, textil, y de la construcción, en fluidos de perforación, como aditivo alimenticio y como estabilizante de emulsiones. Se obtiene por medio de la reacción de álcali celulosa con cloroacetato de sodio (Tejada Tovar, Paz Astudillo, Villabona Ortiz, Espinosa Fortich y López Badel, 2017). El jacinto de agua *(E. crassipes)* debido a su alto contenido en celulosa puede convertirse en carboximetilcelulosa.

i. Procedimiento para la síntesis de Carboximetilcelulosa

Según el estudio realizado por Y. Elsanat, K. Ammar & E. El-Demery, 2012, "*Preparation of carboxymethyl cellulose from water hyacinth "Nile Flowers" (Eichhornia crassipes) and cavendish banana pseudo stems (Musa Cavendishii lambert)*" en el Rio Nilo, Egipto, se plantean las siguientes etapas para la síntesis de Carboximetilcelulosa:

a) Preparación de la muestra: las plantas recolectadas de jacinto de agua *(E. crassipes)* se lavaron manualmente con agua corriente. Se preparó la biomasa a partir de las raíces y ramas, se cortaron en trozos pequeños y secaron a 60°C. Por último, trozos se pulverizaron.

b) Caracterización química: se cuantificó el contenido de fibra cruda, humedad, cenizas, nitrógeno total por el método de Kjeldahl, porcentaje de lignina, celulosa y hemicelulosa.

c) Extracción de celulosa: para la síntesis de la celulosa se trabajó con una mezcla de ácido acético al 80% y ácido nítrico al 70% a una temperatura entre 100 – 130 °C durante 30 minutos. La celulosa se obtiene como residuo seco.

d) Síntesis de Carboximetilcelulosa: se pesaron dos gramos de celulosa y se disolvió en una solución de agua, etanol, alcohol isopropílico, alcohol isobutílico, metanol y NaOH con agitación constante durante 90 minutos a 25°C. La mezcla se filtró y posteriormente se trituro. Se adicionó ácido monocloroacético después de 420 minutos la mezcla se neutralizó con ácido acético al 90 % y se filtró. Por último, la torta fue purificada con metanol al 70% y secada a 60°C.

En la investigación "*Aprovechamiento del Jacinto de Agua (Eichhornia crassipes) para la síntesis de carboximetilcelulosa*" realizada en la Facultad de ingeniería en la Universidad de Cartagena (Tejada Tovar et al., 2017) se sintetizó carboximetil-celulosa (CMC) a partir de celulosa proveniente de jacinto de agua *(E. crassipes)*. Después de haber caracterizado la celulosa, se procedió a la síntesis de carboxime-tilcelulosa a partir del jacinto de agua *(E. crassipes)*. La celulosa extraída, a la con-centración de hidróxido de sodio (NaOH) que garantizara la mayor similitud con la celulosa comercial, fue mezclada con isopropanol y se mantuvo con agitación constante en el shaker a 150 rpm, durante 2 horas. Luego, se adicionó hidróxido de sodio (NaOH) con una concentración de 15 % p/v. Esta solución fue sometida a agitación de 250 en el shaker durante una hora y 30 min. Posteriormente, se adicionaron 6 gramos de ácido monocloroacético y se realizó una agitación de 100 rpm durante 30 min. Finalmente, se agitó constantemente la solución a 55 °C, durante 3 horas. El producto se filtró, y el sólido se lavó con etanol al 70 % v/v y se secó a 60°C.

ii. Consideraciones a tener en cuenta:

El mejor conjunto de condiciones para la síntesis de carboximetilcelulosa a partir de jacinto de agua *(E. crassipes)* se obtiene de las raíces (Y. Elsanat et al., 2012).

La carboximetilcelulosa sintetizada En la investigación "*Aprovechamiento del Jacinto de Agua (Eichhornia crassipes) para la síntesis de carboximetilcelulosa*" realizada en la Facultad de ingeniería en la Universidad de Cartagena (Tejada Tovar et al., 2017) fue sometida a un análisis por espectroscopia de transmisión de infra-rrojo con transformada de Fourier FTIR y se comparó con el espectro de este producto calidad comercial, distinguiéndose la presencia de los grupos funcionales correspondientes a la carboximetilcelulosa, principalmente la del grupo carboximetileter. Evidenciándose además frecuencias de tensión del grupo OH en la banda 3432 cm^{-1} y el alargamiento de C–H en la longitud de onda de 2920 cm^{-1} característico de la carboximetilcelulosa. Se observó una diferencia entre el rango de absorbancia de 3000 cm^{-1} a 1750 cm^{-1} lo cual podría ser explicado a la ausencia de un proceso de purificación de la carboximetilcelulosa obtenida.

1.7.1.9 Fitorremediación

El término fitorremediación consiste en una alternativa viable a través del uso de plantas para limpiar o restaurar ambientes contaminados, como aguas, suelos, e incluso aire, a fin de recuperar sistemas afectados y reducir la concentración o peligrosidad de contaminantes orgánicos e inorgánico a partir de procesos bioquí-micos realizados por las plantas y microrganismos asociados a su sistema de

raíces, en donde se llevan a cabo un conjunto de métodos para degradad, asimilar, metabolizar dichos compuestos.

La idea de utilizar la fitorremediación en aguas residuales fue introducida en el año 1983 y gano aceptación en 1990 al tratarse de una alternativa verde (Perales Vasquez, 2019), ya que evita el uso de energía e insumos químicos.

i. Proceso de fitorremediación a través del jacinto de agua *(E. crassipes)*

Pozo Yépez (2012) concluyó que la fitorremediación aplicada con cada tipo de humedal es efectiva, siendo el humedal de "Lechuguín" *(E. crassipes)* el más aconsejable, ya que a los dos días de retención en el humedal se obtuvo una acción efectiva en lo referente a sólidos sedimentables, DBO, DQO y especialmente en coliformes fecales y totales. Para los parámetros de turbiedad, pH, nitratos, amonio y materia orgánica se concluyó que en el lecho de Lechuguín baja, mientras que en el lecho de carrizo se produce un aumento. Por otra parte, en la conductividad eléctrica, dureza total y sulfatos en ambos lechos vegetales se produce un aumento, mientras que los sólidos suspendidos se mantienen iguales.

Además, se observó que al tartar el agua y retenerla por cuatro días en cualquiera de los lechos vegetales el cromo hexavalente y el plomo cumplen con los valores de los límites permisibles de la norma ambiental establecida en el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS). Determinándose finalmente que el lecho vegetal de Lechuguín (*E. crassipes*) se adapta mejor al medio.

El trabajo de graduación *"Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales Lemma mino (Lenteja de agua), y Eichhornia crassipes (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera"* realizado en la Universidad Politécnica Salesiana. (Jaramillo Jumbo y Flores Campoverde, 2012), en el cual se estableció la capacidad de absorción de mercurio de las especies vegetales lenteja de agua *(L. minor)* y jacinto de agua *(E. crassipes)* y el cambio en los parámetros DBO y DQO en el agua de los lechos de agua.

El proceso experimental de la investigación se llevó acabo en tres fases con una duracion de 15 días, en el cual existe una etapa de adaptación, nutrición y de intoxicación. Para lo cual se construyeron 12 recipientes de vidrio de 30 cm de alto, ancho y profundidad en los cuales se colocaron 9 litros de agua potable y 1 litro de disolución de mercurio para la fase de intoxicación. Se realizaron 3 tratamientos diferentes, uno solo con jacinto de agua *(E. crassipes),* uno solo con lenteja de agua *(L. minor)* y uno en donde se combinaron ambas especies acuáticas. Se concluyó que la utilización ambas especies ofrecen una alternativa a los métodos

convencionales para la desintoxicación por metales pesados como el mercurio. Por otro lado, se determinó que el tratamiento con jacinto de agua *(E. crassipes)* presentó mayores porcentajes de absorción de mercurio con respecto a los otros dos tratamientos, los cuales varían de 28.148 a 28.600 % para el tratamiento con jacinto de agua *(E. crassipes),* de 24.623 a 26.100 % para el tratamiento lenteja de agua *(L. minor)*, y de 26.468 a 27.574 % para el tratamiento combinando ambas especies. Además, se determinó que después del quinto día de intoxicación se presentaron anomalías en ambas plantas, el jacinto de agua *(E. crassipes),* presentó necrosis, la cual empezó en las hojas y se esparció hasta llegar a los peciolos, por otra parte la lenteja de agua *(L. minor)* presentó un proceso de clorosis. Concluyéndose finalmente que el jacinto de agua *(E. crassipes),* es la especie que presenta una mayor resistencia a la concentración de mercurio.

Además de otros estudios como el trabajo de graduacion "*Eficiencia del jacinto de agua (Eichhornia crassipes) y lenteja de agua (Lemna minor) en el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas- Chachapoyas"* (Coronel Castro, 2016), en donde se determinó que ambas especies acuaticas son muy buenas removerdoras de los parametros fisicoquimicos y microbiológicos, siendo la mejor el jacinto de agua *(Eichhornia crassipes)* con un promedio de remoción del 88.24 %, y un 81.24 % para la lenteja de agua *(L. minor).*

El articulo de investigación "*Diseño y evaluación de un biosistema de tratamiento a escala piloto de aguas de curtiembres a través de la Eichhornia crassipes*" (Carreño Sayago, U. F. & Rodríguez, C. 2016), en el cual se determinó a traves de biosistema de tratamiento a escala de laboratorio que el jacinto de agua *(E. crassipes)* es una alternativa para usarse como retenedor de materia orgánica y metales pesados (cromo en este caso).

ii. Consideraciones a tener en cuenta:

La eficiencia y tiempo remoción de contaminantes durante el proceso de fitorremediación dependerá de diversos factores, entre los más importantes:

- **a)** Tipo y número de plantas que se emplean.
- **b)** Ser tolerantes a altas concentraciones de metales.
- **c)** Ser acumuladoras de metales.
- **d)** Condiciones ambientales presentes.
- **e)** Tipo y cantidad de sustancias químicas presentes.
- **f)** Tener una rápida tasa de crecimiento y alta productividad
- **g)** Ser especies locales, representativas de la comunidad natural.

1.7.1.10 Forraje animal

Las propiedades nutricionales y a la abundancia del jacinto de agua *(E. crassipes)* tanto en época seca como en época lluviosa permiten su aprovechamiento en la preparación dietas para diferentes grupos de animales de interés zootécnico como bovinos, cerdos, aves de corral y peces, pudiéndose utilizar las plantas enteras, picadas o molidas, o como materia fresca, seca o ensilada en las dietas de animales rumiantes o monogástricos (Narváez León, P. A., 2018).

Debido al contenido de proteína bruta, fibra bruta, carbohidratos y minerales de la planta acuática, esta se podría utilizar como sustituto de materias primas de alto costo económico como el maíz y sorgo para la elaboración de forrajes para animales, por lo que, en algunos países como China, Filipinas y Tailandia se combina con otros suplementos y se utiliza para la alimentación de cerdos, patos y peces. (Narváez León, P. A., 2018). Tejada de Hernández, I. (1974) empleó el jacinto de agua *(E. crassipes)* en la alimentación de pollos en crecimiento, analizando los parámetros de ganancia de peso, conversión alimenticia y coloración de los tarsos.

Párraga Alava, C., Barre Zambrano, R., Dueñas Rivadeneira, A., Muñoz Murillo, J. y Zambrano Vélez, M. (2018), obtuvieron harina a partir de jacinto de agua (*E. crassipes*) utilizando dos métodos de secado, secado al sol (con un rendimiento del 8%) y secado mediante una estufa (con un rendimiento del 12%), evaluando tiempos de secado de 0, 4, 23y 48 horas, con el objetivo de lograr un mejor aprovechamiento en su consumo.
Febrero Toussaint, I., Romero Cruz, O., Ruiz Ortiz, L., y Gonzáles Salas, R. (2005) concluyeron que el jacinto de agua *(E. crassipes)* fresco o ensilado se puede utilizar en la alimentación de cerdos en ceba, luego de evaluar el comportamiento productivo de cerdos Yorkshire- Landrace x Duroc durante 89 días, y no observar diferencias significativas al utilizar tres tratamientos alimenticios diferentes, los que incluyeron king grass, jacinto de agua *(E. crassipes)* fresco y ensilaje de jacinto de agua *(E. crassipes),* suplementándolos a su vez con afrecho de trigo, harina de soya y miel final, siendo el jacinto de agua *(E. crassipes)* fresco el que presentó los mejores resultados.

Tejada de Hernández, I. (1974) concluyó que el jacinto de agua *(E. crassipes)* no contiene factor toxico alguno para el pollo en crecimiento, a través de dos experimentos, el primero en cual se utilizó harina de jacinto de agua *(E. crassipes)* completo y el segundo en el cual se utilizó harina de bulbos y hojas los cuales se fueron adicionando progresivamente sustituyendo la harina de alfalfa, tomando como parámetros de control la ganancia de peso, conversión alimenticia y

coloración de los tarsos, sin embargo no recomienda la utilización de este en dietas en porcentajes mayores al 5%, ya que la utilización de esta planta en las dietas se ve afectada por factores como el alto contenido de fibra cruda y la baja energía metabolizable que presenta.

El estudio de la harina de jacinto de agua (*E. crassipes*) completo y la de bulbo y hojas, determinó que, desde el punto de vista químico o biológico no se observaron diferencias significativas, por lo que, Tejada de Hernández, I. (1974) se sugiere que la raíz tiene poca importancia en cuanto al valor nutritivo de la planta, por lo que no se justifica el proceso de separación de las raíces en el proceso.
Se ha determinado que el uso de haría de jacinto de agua *(E. crassipes)* presenta una alternativa sumamente viable en la formulación de dietas de tilapia roja *(Oreochromis spp)*, al ser una fuente de materia prima abundante y económica, obteniéndose un rendimiento promedio en la elaboración de la haría del 12%, sin embargo, al utilizar un molino eléctrico el rendimiento disminuye, pero también lo hacen los costos, por otra parte, el uso de un molino mecánico aumenta el rendimiento pero también aumentan los costos por el uso de mano de obra adicional (Cuello Marín, R. R., 2001).

Saha S. & Kumar Ray A. (2010) concluyeron que la harina obtenida de la fermentación de hojas de *E. crassipes* con bacterias intestinales de pescado que exhiben actividad enzimática extracelular, puede ser utilizada en la dieta de alevines con un nivel de incorporación de hasta el 40%, reemplazando la harina de pescado sin ningún efecto adverso sobre el crecimiento de los peces. Las dietas de los peces se prepararon en forma de pellet agregando 0.5% de carboximetilcelulosa como aglutinante.

Con respecto a los caprinos, se ha demostrado un mejor crecimiento cuando el jacinto de agua *(E. crassipes)* se suministra como materia seca, por otra parte el ganado vacuno presentó efectos positivos en el consumo y crecimiento al emplear dietas a base de la planta marchita combinada con paja de arroz. Se recomienda que por el bajo contenido de materia seca de la planta, se utilice marchita para evitar así perdidas en el ensilaje (Narváez León, P. A., 2018).

i. Procedimiento para la preparación de harina para alimentación animal

El primer paso para la elaboración de harina para alimentación animal es la recolección y lavado del jacinto de agua *(E. crassipes),* Cuello Marín, R. R. (2001) recomienda el uso de hojas y tallos de la planta acuática, presionar para reducir el volumen de estos y luego someter a un proceso de secado al aire libre en el sol, sobre superficies planas, hasta que estos adquieran una consistencia quebradiza. Por otra parte, Párraga Alava, C. et al (2018), recomiendan reducir el tamaño de la

materia prima en secciones uniformes de un centímetro, antes de someter al proceso de secado.

Al completarse el secado de la materia prima, se somete a un proceso de molienda para obtener la harina, y finalmente se pesa y se almacena herméticamente en bolsas de plástico para evitar su posterior hidratación (Cuello Marín, R. R., 2001). Párraga Alava, C. et al (2018), recomienda almacenar el producto final en un lugar fresco y seco que no supere los 18°C.

ii. Consideraciones a tener en cuenta

Febrero Toussaint, I. et al (2005) mencionan que cuando se utilizan alimentos voluminosos, no solo se debe tener en cuenta la calidad de estos, sino que también otros indicadores como el tamaño de las partículas, factores vinculados al consumo y la influencia del clima (temperatura y humedad relativa), lo cual podría explicar las ligeras diferencias observadas en el nivel del consumo de los diferentes tratamientos.

Una evaluación económica realizada por Febrero Toussaint, I. et al (2005) demostró que la implementación de estos tratamientos alimenticios también es viable económicamente, siendo los costos por peso y de alimentación menores para el jacinto de agua *(E. crassipes)* fresco, sigo del king grass y el ensilaje.

Un forraje se considera de buena calidad cuando el consumo de 2.0% y 2.5% de materia seca, con respecto al peso corporal del animal tiene un contenido de 7 a 9% y 9 a 11% de proteína cruda respectivamente. Según los resultados obtenidos en las diferentes investigaciones, el forraje obtenido de plantas maduras de jacinto de agua *(E. crassipes)* es calidad regular, mientras que el forraje obtenido de las plantas jóvenes podría ser de buena calidad, sin embargo, no se logran cubrir los requerimientos de proteína cruda en algunos animales de interés zootécnico, por lo cual, es necesario el uso de suplementos en las diferentes dietas de estos (Narváez León, P. A., 2018).

Por la capacidad del jacinto de agua *(E. crassipes)* de absorber y bioacumular metales pesados de alta toxicidad Narváez León, P. A. (2018) recomienda que para utilizar esta planta en la alimentación de animales se realizan análisis de estos no solo en las diferentes partes de la planta acuática, sino también al cuerpo de agua donde se encuentra, menciona además que es importante tener en cuenta este comportamiento en la toma de decisiones en alimentación animal, ya que esto puede generar acumulación de metales pesados en la carne de los animales alimentados y consecuencias sobre la salud pública.

iii. Herramientas utilizadas durante el proceso

Las herramientas necesarias para la elaboración de harina a partir de jacinto de agua (*E. crassipes*) son las siguientes (Cuello Marín, R. R., 2001):

a) Herramientas de corte.
b) Una superficie plana para el proceso de secado o una estufa. (Párraga Alava, C. et al, 2018).
c) Molino, para el proceso de molienda.
d) Bolsas plásticas

1.7.1.11 Mueblería, cordileria y textil

La cestería es la confección de tejidos con fibras vegetales de productos como canastas, carteras, sombreros, ramos para Semana Santa o trampas para pescado, cordelería es el trenzado de las fibras vegetales para la elaboración de cuerdas, sogas y otros materiales para ataduras y amarres y textil, la confección de productos a partir de la extracción de la fibra, a través de procesos de hilado, entrelazado o tejido para la elaboración de bolsos, ropa, calzado, telas o alfombras.

El uso de fibras naturales en la fabricación muebles aporta valor agregado y la creación de ambientes mucho más acogedores, los productos que cubren toda la gama de mueblería como salas, comedores, sofás, camas, juegos de alcoba, cómodas, estanterías, estuches, bibliotecas, archivadores y otros.

i. Procedimiento para la elaboración de cordelería, textil y tableros aglomerados en fibra y cemento.

El Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) en el año 2014 presentó en el documento *"Investigación de la Caracterización del Jacinto de Agua Eichhornia crassipes del humedal Cerrón Grande, para determinar su aprovechamiento como materia prima en la elaboración de productos, agroindustriales, industriales o artesanales"* como cuarto aprovechamiento para el jacinto de agua *(E. crassipes)* la elaboración de mueblería, cordelería, textil y aglomerados en fibra y cemento.

Para la elaboración de fibras, se debe colocar a remojo la materia prima entre 1 y 3 semanas, dependiendo de la cantidad de materia prima que se tenga y la dureza de la fibra que se quiera extraer, en este proceso gracias a la acción microbiana los tejidos blandos se descomponen dejando libres las hebras o hijos de las fibras. Las fibras obtenidas se sacan del agua, se limpian, se lavan y finalmente se dejan secar al sol.

Este método es empleado comúnmente para la extracción de fibras duras, proceso en el cual se debe separar la corteza de los tejidos vegetales que poseen la fibra proveniente del jacinto de agua (*E. crassipes*), ya sea mecánicamente, o mediante el uso de maquinaria. Después se deben secar al sol y se extrae la fibra a través de un proceso químico en el cual se eliminan las gomas y pectinas de los tejidos con una solución de hidróxido de sodio, fosfatos y otros químicos. Finalmente se lavan y dejan secar al sol.

La elaboración de tableros aglomerados se lleva a cabo aglutinando pequeñas astillas o fibras lignocelulósicas (comúnmente desperdicios de otros procesos productivos de aserraderos y mueblerías) por medio de un adhesivo bajo acción de calor y presión por un tiempo determinado. Por otra parte, el cemento Portland actúa como aglutinante con gran aceptación en la construcción, como muro divisorio en zonas húmedas además de construcción de casas prefabricadas, este presenta posibilidades para el atrapado de compuestos orgánicos e inorgánicos, teniendo una aplicación exitosa para el tratamiento de residuos tóxicos con metales.

ii. Consideraciones a tener en cuenta:

Durante la manipulación de la materia prima para la elaboración de estos productos, se recomienda:

a) Utilizar únicamente los tallos de la planta por lo cual descartar inmediatamente las hojas como de las raíces de esta.

b) Se deben seleccionar los tallos que se encuentren en mejor estado, clasificándolos de acuerdo con el tamaño, estado físico y madurez. Por otro lado, eliminar cualquier suciedad del tallo.

c) Se recomienda no exponer al sol directo por un periodo prolongado de tiempo para lograr un secado uniforme, además de voltear continuamente por un periodo de 6 días, trasladando finalmente a un lugar en el cual se encuentren al aire libre.

d) Eliminar cualquier resto de contaminante con un baño de agua colorada o con una solución de Hidróxido de Sodio.

1.7.1.12 Papel

El papel deriva de la palabra griega "papiros" (papiro), arbusto denominado "*Cyparus papyrus*" que significa "producto del río", que crecía en las riberas fangosas del rio Nilo. En la primera dinastía egipcia 3000 a. C. se utilizaba como materia prima para realizar papel, cuerdas, cestas e inclusive como alimento ya que sus hojas y troncos son sumamente versátiles, se sabe que los egipcios escribían

en rollos de papiro, cortando la planta en tiras la parte central del tallo, su tamaño dependía de la longitud de estas tiras, se colocaban en capas, y se dejaban en remojo entre 7-14 días, se golpeaban con mazos para aplanarlas y perder parte de su humedad y azucares, se dejaban secar para obtener una superficie apta para escribir, después se pegaban unas hojas con otras, formando rollos sobre una varilla de madera, marfil o hueso, el pegamento estaba compuesto por agua, harina y vinagre, por lo podemos decir que la sustancia aglutinante del tallo constituía el encolado y la superficie se hacía uniforme con el agregado de harina (carga) (Quihue Cabezas, J. G., 2014).

La pared celular de las plantas consiste en polisacáridos de celulosa, hemicelulosa que son polímeros naturales formados por unidades de glucosa unidos por enlaces β-1,4 y lignina Hernández, J. A., Torres García, A., Conejo Moreno, F. B., Oliva González, A. S. y Ardila A., A. N. (2015).

La celulosa es la materia prima para la formación de pasta celulósica en el proceso de la fabricación del papel, y tanto esta como la hemicelulosa se pueden degradar por métodos químicos-físicos y enzimáticos, después de la celulosa, la lignina es la sustancia orgánica más abundante en las plantas, esta es un polímero altamente ramificado de los grupos fenilpropanoides y la efectividad y pureza de la pasta depende principalmente de la cantidad de lignina que se pueda remover o eliminar, ya que esta es la encargada de darle rigidez a la fibra vegetal y proporcionar el color oscuro a la pasta, dificultando el proceso de blanqueo. (Muñoz Montañez, J. A. y Zapata Moreno, D. A, 2019).

Hernández, J. A., et al (2015) extrajeron, cuantificaron y caracterizaron lignina, celulosa y hemicelulosa del jacinto de agua *(E. crassipes)* mediante un tratamiento en base a ácidos y solventes orgánicos optimizado para tener buenos rendimientos y un impacto hacia al ambiente menor que los actuales procesos, Muñoz Montañez, J. A. et al (2019) evaluaron la posibilidad de obtener celulosa a partir de jacinto de agua *(E. crassipes),* por otra parte Valencia Oviedo, J. A., Maravilla Miranda, S. A. y Herrera Torres, L. M. A (1982) plantearon la obtención de pulpa celulósica a partir de jacinto de agua *(E. crassipes),* presentando el diseño de una planta industrial productora de pulpa semiquímica, mientras que Juárez Alvarado, J. L., Jesús Isla, R. E. y Arias Trinidad, A. (2015) elaboraron papel a base de jacinto de agua *(E. crassipes).*

La elaboración de papel vegetal es el tercer uso recomendado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) en base a las características socioeconómicas y ambientales del Embalse Cerrón Grande en el documento "*Investigación de la Caracterización del Jacinto de Agua Eichhornia crassipes del humedal*

Cerrón Grande, para determinar su aprovechamiento como materia prima en la elaboración de productos, agroindustriales, industriales o artesanales" (2014), en el que se consideraron tanto la factibilidad como las condiciones mínimas para llevar a cabo el experimento.

i. Procedimiento para para producción de papel

La primer fase del proceso productivo es el acondicionamiento del jacinto de agua *(E. crassipes)*, se deben seleccionar las hojas y tallos a utilizar, cortarlas en pedazos no mayores a una pulgada y posteriormente pesarlas, es necesario llevar un control sobre la materia prima que ingresa al proceso, se debe licuar o moler, obteniendo así una pulpa con partículas de fibra más pequeñas y uniformes, de esta forma se obtiene un papel flexible y de una textura suave , sin embargo se pueden elaborar papeles con diferentes texturas, desde lisa hasta rustica (MARN/FIAES/ ADEL Chalatenango, 2014).

Juárez Alvarado, J. L. et al (2015) proponen depositaron el jacinto acuático (*E. crassipes*) en un contenedor con agua para remover los restos infiltrados en la planta, y dejar reposar en un periodo de 24 horas, para después retirar las raíces y las hojas, ya que ellos proponen solo utilizar el tallo de la planta.

Se cocina la pulpa en una olla de acero inoxidable, agregando 3 onzas de hidróxido de sodio y aproximadamente de 5 a 6 litros de agua por cada libra de materia prima, removiendo constantemente hasta que se cocine. Posteriormente se deja enfriar, cuela, se pone a escurrir, se lava con suficiente agua y se exprime, esta acción se repite hasta que el agua no muestre rastros de residuos extraños a su color natural, ni el olor característico de la lejía (MARN/FIAES/ ADEL Chalatenango, 2014), Valencia Oviedo, J. A. et al (1982) recomiendan realizar una cocción a 165 ± 3 °C durante 90 minutos.

Después se agregan aproximadamente 5 cucharadas de almidón por cada libra de pulpa, para esto se prepara el almidón en una taza de agua y después se adiciona a la mezcla. Es necesario revolver la pulpa manteniendo las partículas de fibra en permanente suspensión. Estas partículas se recogen en bastidores de moldeado durante 2 minutos, se retira el exceso de agua con una esponja y se apilan las hojas sobre mantas, al secarse las hojas se procede a retirarlas del tablero, jalando con cuidado una de las orillas para evitar que la hoja se maltrate, finalmente se prensan y se secan bajo el sol (MARN/FIAES/ ADEL Chalatenango, 2014).

ii. Consideraciones a tener en cuenta:

Valencia Oviedo, J. A. et al (1982) recomiendan una temperatura de 165 °C para el proceso de cocción, porque la cinética de cocción de ataque a la lignina, al superar los 170 °C se vuelve incontrolable y puede dañar la celulosa.

(MARN/FIAES/ ADEL Chalatenango, 2014) recomienda:

a) Llevar un control estricto del tiempo en los bastidores para que todas las hojas tengan el mismo grosor.

b) Realizar el proceso de secado de las hojas en lugares de sombra y ventilación.

iii. Herramientas utilizadas durante el proceso

Un biodigestor, para el proceso de cocción, MARN/FIAES/ ADEL Chalatenango (2014) recomiendan el uso de una olla de acero inoxidable.

Una prensa artesanal, para el proceso de presando de las hojas, con bases madera y dimensiones de 700 mm x 80 mm, con un espesor de 3/8'' x 3 piezas, una plancha de 700 mm x 800 mm y una placa de 1/2'' para la unir las tablas que realizaran la acción de prensado, se recomienda, además, un sistema manual que ejerza presión a través de una mica hidráulica de 10 toneladas de presión MARN/FIAES/ ADEL Chalatenango (2014).

1.7.1.13 Tableros aglomerados

El tablero aglomerado es un material en forma plana el cual puede ser elaborado aglutinando pequeñas astillas o fibras lignocelulósicas (comúnmente desperdicios de otros procesos productivos de aserraderos y mueblerías) por medio de un adhesivo bajo acción de calor y presión por un tiempo determinado (MARN/FIAES/ADEL Chalatenango, 2014).

En los análisis de metales pesados realizados por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2014) al jacinto de agua *(E. crassipes)* del Embalse Cerrón Grande, se detectó la presencia de plomo, por lo cual la elaboración de tableros aglomerados en fibra y cemento es propuesto como el quinto y último aprovechamiento del jacinto de agua *(E. crassipes)* presentado en la "*Investigación de la Caracterización del Jacinto de Agua Eichhornia crassipes del humedal Cerrón Grande, para determinar su aprovechamiento como materia prima en la elaboración de productos, agroindustriales, industriales o artesanales*", el cemento Portland actúa como aglutinante con gran aceptación en la construcción, como muro divisorio en zonas húmedas además de construcción de casas prefabricadas, este presenta

posibilidades para el atrapado de compuestos orgánicos e inorgánicos, teniendo una aplicación exitosa para el tratamiento de residuos tóxicos con metales (MARN/FIAES/ADEL Chalatenango, 2014).

Rahmawati W., Haryanto A.& Suharyatun, S. (2018) utilizaron el jacinto acuático *(E. crassipes)* para la elaboración de bio-tableros con 5 presiones diferentes (2Mpa, 3.5MPa, 5MPa, 6.5MPa y 8 MPa), utilizando los enlaces de hidrógeno entre las fibras de celulosa en lugar de sustancias químicas y aditivos adicionales, además evaluaron los parámetros de densidad y tensión de flexión.

Salas Ruiz, A., Barbero Barrera, M. M. y Ruiz Téllez, T. (2019) realizaron una caracterización microestructural y química del pecíolo de jacinto de agua *(E. crassipes)* para encontrar el uso más eficiente como material de construcción. Desarrollaron dos tipos de paneles de aislamiento sin aglomerante, con dos tipos de tamaño de partícula, además de una caracterización física, mecánica y térmica de estos.

Salas Ruiz, A. et al (2019) demostraron que es posible fabricar paneles de pecíolos de jacinto de agua *(E. crassipes)*, y que el conocimiento detallado de la composición química y la microestructura (anatómica) de las fibras de jacinto de agua (*E. crassipes*) obtenidas de los pecíolos de la planta, conducen a una eficiente fabricación de paneles de aislamiento térmico sostenibles de bajo costo, baja energía, sin aglutinantes y sin pegamentos artificiales, con una conductividad térmica razonablemente buena, con valores entre 0.047 y 0.065 W/mK.

i. Procedimiento para para producción de tableros aglomerados

La elaboración de los bio-tableros se realiza mediante procesos de corte, remojo, refinación, moldeo y secado Rahmawati W. et al (2018).

La primera fase de este proceso es la recolección y procesamiento de inmediato de la planta completa del jacinto de agua *(E. crassipes),* extrayéndolo del cuerpo de agua completo hasta tierra firme y se deja secar totalmente a sol directo en un lugar ventilado (MARN/FIAES/ADEL Chalatenango, 2014). Rahmawati W. et al (2018) recomiendan secarlo al sol 8 horas diarias, durante 3 días, se molerlo en un molinillo Toshiba hasta convertirlo en harina o aserrín y se sumergirlo en agua durante 7 días, refinarlo en una máquina de refinería durante 10 minutos y se sumergió nuevamente en agua durante 7 días.

MARN/FIAES/ADEL Chalatenango (2014) MARN, et al (2014) recomienda utilizar una mezcladora de cemento e incluir resina de urea-formaldehido y una mezcla 50% cemento y 50% aserrín de jacinto de agua (*E. crassipes*), colocarla en marcos de madera según el grosor que se desee, pasar un rodillo para nivelar, realizar presión

mediante una prensa hidráulica y finalmente someter a un horno a 50 °C para darle el cuerpo y la altura deseada (MARN/FIAES/ADEL Chalatenango, 2014), Mientras que Rahmawati W. et al (2018) recomiendan un molde de 100 mm x 100 mm de tamaño, moldear sin calor durante 20 minutos y luego a 110 °C durante otros 60 minutos.

ii. Consideraciones a tener en cuenta:

El proceso de mayor importancia en el estudio realizado por Rahmawati W., et al (2018) fue el refinamiento, se ha estimado que este afecta las características de las fibras como el corte y el acortamiento de estas, la estructura de la pared, la delaminación, la fibrilación/hinchazón interna, el rizado de la fibra o el enderezado de la fibra, y la redistribución de hemicelulosas desde el interior de la fibra hasta el exterior. Se determinó que la densidad de los bio-tableros de jacinto de agua *(E. crassipes)* se encuentra entre 1.057 g/cm^3 y 1.279 g/cm^3, clasificando los bio-tableros como tableros de alta densidad, con un esfuerzo promedio de rotura por flexión de 46.21 MPa y un esfuerzo de rotura por tracción de 6.64MPa (Rahmawati W., et al, 2018).El bajo contenido de lignina del jacinto de agua (*E. crassipes*) permite fabricar paneles sin aglutinantes y sin ser sometidos a un proceso de calentamiento (Salas Ruiz, A. et al, 2019).

iii. Herramientas utilizadas durante el proceso

Las herramientas que son utilizadas para la elaboración de los tableros aglomerados son las siguientes:

a) Molinillo Toshiba y una máquina de refinación para acondicionar en el jacinto de agua (*E. crassipes*) que se utilizará como materia prima Rahmawati W. et al (2018).
b) Un rodillo para nivelar y marcos de madera del grosor que se desee para el proceso de moldeado (MARN/FIAES/ADEL Chalatenango, 2014).
c) Una prensa hidráulica para el proceso de prensado (MARN/FIAES/ADEL Chalatenango, 2014).
d) Un horno para el proceso de secado (MARN/FIAES/ADEL Chalatenango, 2014).

CAPITULO II

CARACTERIZACIÓN DEL LAGO SUCHITLAN

2.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICO, QUÍMICA Y BIOLÓGICA DEL LAGO SUCHITLAN

El concepto de calidad de agua es amplio, pero se puede definir como: Las "características físicas, químicas y biológicas del agua necesarias para sostener los usos deseados". En consecuencia, el agua para recreación, pesca, bebida y para el hábitat de organismos acuáticos requiere altos niveles de pureza, mientras que, para la producción de energía hidroeléctrica, las normas de calidad son mucho menos importantes (ONU, 2015).

En investigaciones destinadas al aprovechamiento de la planta jacinto de agua *(E. crassipes),* es tan importante conocer la ubicación de donde se extrae esta, así como la composición química y la calidad del líquido en la cual está creciendo puesto que tendrá repercusiones en la composición de la planta; estas características son de mucha importancia, ya que para poder darle un uso muchas veces se requiere de procesos de desinfección y de eliminación de algún componente químico que puede tener algún tipo de riesgo para la salud humana, lo que supone un incremento en los costos para su utilización; los cuales es conveniente conocerlos desde el inicio de cualquier proyecto, ejemplo de ello es la elaboración de productos en donde se tenga un contacto directo, como son platos y vasos, donde podría ocurrir una contaminación cruzada de metales pesados a los alimentos.

De la misma forma conocer la calidad del agua en las zonas donde el jacinto de agua *(E. crassipes)* tiene una mayor proliferación, nos ayuda a determinar qué factores afectan su crecimiento, es decir si existe algún componente que altere el ciclo biológico de la planta; al tener aguas con una con exceso de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, aunque son sustancias solubles en agua que las plantas y algas necesitan para su desarrollo, si se encuentran en cantidad excesiva inducen el crecimiento desmesurado de estas, provocando la eutrofización de las aguas, cuando estas algas y otros vegetales mueren, al ser descompuestos por los microorganismos, se agota el oxígeno y se hace imposible la vida de otros seres

vivos. El resultado es un aumento de eutrofización y un agua maloliente e inutilizable.

Igualmente, se puede analizar la severidad del daño causado por la misma planta a través de los análisis de agua, puesto que se sabe que, al formar un denso tapiz sobre la superficie del agua, dificulta el intercambio de oxígeno con la atmósfera e impide el paso de la luz al fondo, causando evapotranspiración, se libera materia orgánica al medio que junto a los factores mencionados anteriormente provoca un empobrecimiento en oxígeno en las aguas y un empeoramiento de la calidad.

Diversas instituciones se han encargado de estudiar la calidad del agua superficial en el embalse Cerrón Grande, el Monitoreo de la calidad del agua en la cuenca del río Lempa 2003-2008, elaborado por la CEL y datos del Estudio del Análisis de la contaminación del Cerrón Grande, elaborado por PROVIDA, que fueron recopilados en la tesis de León Delgado, V. A, Montoya López, A. B. y Rivera Galdámez, A. E, en el año 2013, así como investigaciones y estudios técnicos como los presentados por Cuadra Zelaya y Romero García (2006) y P. M. Alegría, G. A. Alvarado, A. A. Barahona, R. M. Prieto y E.H. Ramos (2019) de los cuales se presentan parte de los resultados en la tabla 2.1, se muestran las ubicaciones de los lugares muestreados en la figura 2.1 y se explica los parámetros medidos y el contraste con las normativas salvadores de agua.

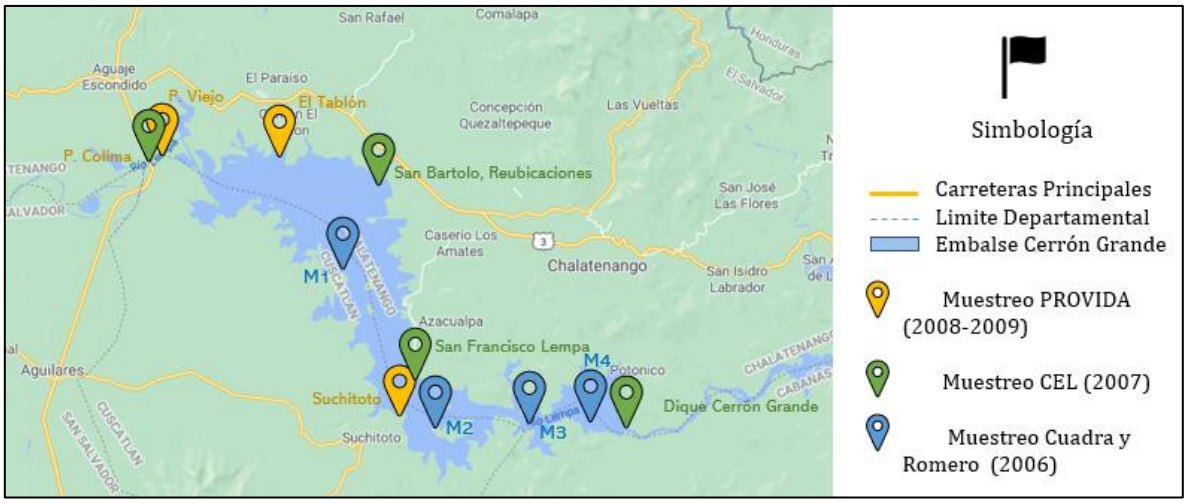

Figura 2.1 Mapa de sitios muestreados en la realización de estudios de calidad de agua en el embalse Cerrón Grande.

Tabla 2.1 Parámetros fisicoquímicos del Embalse Cerrón Grande.

	Parametro		pH	Color aparente	Conductividad	Turbidez	Total, sólidos disueltos	Dureza total CaCO3	Cloruros Cl-	Fenoles	Sulfatos	Fosfatos PO4-3	Silice SiO2	Hierro Fe2+	Nitratos NP3-	Cloro CL2	Cinc	Cobre	STD	DBO5	DQO	OD	Sodio
Estudio	Ubicación/Unidades	Fecha		Pt-Co	us/cm	UNIT ó FAU	ppm	ppm	ppm	mg/L	mg/L	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	%
Cuadra Zelaya y Romero García (2006)	M1	2006	7.82		262.0														129.00	11.50	52.00	10.60	
	M2	2006	7.53		240.2														118.00	7.60	35.00	9.40	
	M3	2006	7.61		224.6														110.00	9.20	44.00	10.45	
	M4	2006	7.41		218.2														107.00	8.20	37.00	8.85	
Alegría et al (2019)	Embalse Cerrón Grande	2019	6.9				162	80	50			5	20	0.1	--	0							
PROVIDA, Reporte del Estudio del Análisis de la Contaminación del Cerrón Grande.	Intersección de Embalse Cerrón Grande y Río Acelhuate, Puente viejo Colima, Tejutla, Chalatenango	30/3/2009	7.59	26	503.0	85.8					39				0.5		<0.03595	0.012	246.00			4.22	
		31/11/2008	6.80	32	216.0	14.5					18				0.3		<0.03595	0.01035	107.90			7.71	
	Embalse Cerrón Grande enfrente de El Tablón, El Paraíso, Chalatenango	30/3/2009	9.65	30	246.0	23.8					15				0.8		<0.03596	<0.00384	119.80			12.78	
		3/11/2008	6.75	76	154.6	19.8					10				0.5		<0.03597	<0.00385	77.30			5.77	
	Embalse Cerrón Grande enfrente de Suchitoto, Suchitoto, Cuscatlán	30/3/2009	7.81	5	226.0	7.14					14				0.6		<0.03598	<0.00386	105.80			7.30	
		3/11/2008	6.64	90	149.0	20.4					10				0.2		<0.03599	<0.00387	74.50			4.02	
CEL. Monitoreo de la calidad del agua en la cuenca del río Lempa, 2003-2008	E04 (Puente Colima)	14/8/2007	7.55		140.0	4			10	ND	34				7.2			ND		0.4		5.20	12.0
		26/4/2007	--		--	--			7	ND	17				2.6			0.0011		0.6		--	22.5
	E05 (Frente a Reubicaciones, cantón San Bartolo, Chalatenango)	14/8/2007	8.12		238.0	0			14	ND	13				0.8			ND		0.4		6.20	18.0
		26/4/2007	8.31		265.0	1.8			13	ND	13				0.1			0.0011		5.9		8.78	22.0
	E06 (Frente a San Francisco Lempa Superficie)	14/8/2007	7.80		240.0	12			15	ND	9				0.1			ND		0.3		6.10	18.5
		26/4/2007	8.09		265.0	1.9			12	ND	11				0			0.0011		6.4		7.98	22.0
	E07 (Frente a dique Cerrón Grande)	14/8/2007	7.30		260.0	22			15	ND	16				1.6			ND		0.3		3.40	19.5
		26/4/2007	7.65		240.0	0			13	ND	15				0.1			0.0011		5.6	0	0.00	19.5

2.1.1 Cloruros

Según el estudio realizado por CEL (2010) el rango de los valores de cloruro se encuentra entre 7 ppm (Puente Colima) a 15 ppm (Frente a San Francisco Lempa Superficie) (Figura 16), en el 2019 el estudio de Alegría, P. M. et al presentó para el embalse Cerrón Grande un valor 50 ppm. Los rangos permitidos en El Salvador están entre 50 - 250 ml/l, según la normativa para agua cruda para potabilizar, emitida en el Decreto No. 51, en el Reglamento Sobre La Calidad Del Agua, El Control De Vertidos Y Las Zonas De Protección.

2.1.2 Color Aparente

En los datos obtenidos por PROVIDA el color aparente de las aguas del Embalse del Cerrón Grande varía de 5 a 90 Pt-Co, siendo 15 Pt-Co el valor máximo permisible establecido por la Norma Salvadoreña para agua potable (MARN, 2012b). El color del agua se debe a la presencia sustancias disueltas y las partículas en suspensión de materia orgánica natural.

2.1.3 Conductividad

En el trabajo de graduación realizado por Cuadra Zelaya y Romero García (2006) los valores de conductividad encontrados varían de 218.2 a 262 µs/cm, mientras que en el estudio presentado por CEL (2010) el rango de valores de conductividad varía de 140 µs/cm (Puente Colima) y 265 µs/cm (Frente a Reubicaciones, Catón San Bartolo, Chalatenango), en los años 2008 y 2009 se determinaron rangos de valores de 149 a 216 µs/cm y 126 a 503 µs/cm respectivamente, donde los valores menores se encontraron frente a Suchitoto, Cuscatlán y los mayores en la intersección del embalse Cerrón Grande y el rio Acelhuate, Chalatenango. La tendencia descendente a través del embalse es provocada por el efecto de dilución por la corriente a lo largo de los puntos muestreados. Estos valores se encuentran dentro del rango permisible en El Salvador, según la normativa de agua para riego emitida en el Decreto No. 51, en el Reglamento Sobre La Calidad Del Agua, El Control De Vertidos Y Las Zonas De Protección, donde los rangos de calidad deseables en aguas para irrigación se encuentran entre 250 – 750 µs/cm (MARN, 2012b)

2.1.4 Demanda Química de Oxigeno (DQO)

La demanda química de oxígeno es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar toda la materia orgánica y oxidable presente en el agua, es por tanto una medida representativa de la contaminación orgánica de un efluente siendo un parámetro a

controlar. En el trabajo de graduación realizado por Cuadra Zelaya y Romero García (2006), los valores de DQO varían entre 37 a6 52 ml/l, reportando un promedio de 38.67 mg/l (Cuadra Zelaya y Romero García, 2006).

2.1.5 Potencial de Hidrógeno, pH

En el estudio presentado por Cuadra Zelaya y Romero García (2006) el rango de pH registrado en las zonas de muestreo fueron de 7.41 a 7.82, mientras que el estudio "*Monitoreo de la calidad del agua en la cuenca del rio Lempa 2003-2008*" CEL (2010) se determinó que la zona con el valor de pH más alto es la zona frente a Reubicaciones, Cantón San Bartolo, Chalatenango con 8.12 - 8.31 en el año del 2007, es necesario mencionar que en los puntos de muestreo frente al dique Cerrón Grande y puente colima se presentaron rangos de pH de 7.30 – 7.65 y 7.55 respectivamente, zonas donde existe una mayor presencia de jacinto de agua *(E. crassipes).*

Por otra parte el los datos reportados por León Delgado, et al (2013) presenta que la zona en donde el valor de pH es más alto es enfrente de El Tablón, El Paraíso, Chalatenango con 9.65 para el mes de marzo del año 2009, valor que asciende en este punto debido a la generación de desechos provenientes de caseríos aledaños a esta área, mientras que el punto de muestreo en la intersección del Embalse Cerrón Grande y el rio Acelhuate, Puente Viejo, Colima, Tejutla, Chalatenango es 7.59 zona que como anteriormente se menciona, existe una mayor aglomeración de jacinto de agua *(E. crassipes).* El estudio más reciente realizado en el embalse Cerrón Grande por Alegría, P. M. et al (2019) presentó un valor de pH 6.9. Según Norma Salvadoreña Obligatoria de Agua Potable el rengo de pH permisible es de 6.0 a 8.5, observándose que la mayoría de los puntos estudiado se encuentran dentro de la norma, lo que hace posible utilizar las aguas del embalse para riego de cultivos, no así para consumo humano.

2.1.6 Turbidez

En el estudio realizado por CEL (2010) se presentó que los valores de turbidez varían de 0 UNT (frente a Reubicaciones, Catón San Bartolo, Chalatenango) a 22 UNT (frente al dique Cerrón Grande), por otra parte, el estudio de PROVIDA presentó valores de turbidez de 7.14 UNT (enfrente de Suchitoto) a 85.8 UNT (en la intersección del embalse Cerrón Grande y rio Acelhuate). Según la aptitud del uso de agua los parámetros límites de turbidez pueden variar de 10 a 250 UNT para agua cruda que puede ser potabilizada por métodos convencionales, sin embargo, se deben analizar otros parámetros fisicoquímicos y biológicos para que el agua del embalse pueda cumplir con este propósito.

2.1.7 Oxígeno Disuelto

Según el estudio realizado por PROVIDA tomando como referencia 4 puntos de muestreo representativos de El Embalse Cerrón Grande, *en el Reporte del Estudio del Análisis de la Contaminación del Cerrón Grande,* Cuadra Zelaya y Romero García (2006), registró un promedio de O.D. de 9.83 mg/l, el promedio de O.D. para el año 2007 fue de 8.10 mg/ml, sufriendo una disminución el siguiente año, presentando un valore de O.D. de 5.83 mg/ml. P

Los sitios de muestreo de mayor cantidad de Oxígeno Disuelto se presentaron en el estudio realizado por CEL. *Monitoreo de la calidad del agua en la cuenca del río Lempa,* 2003-2008, en donde el promedio de O.D. registrado durante el año 2007 fue de 11.30 mg/l.

Los rangos permitidos en El Salvador están entre 4 – 6.5 ml/l, según la normativa para agua cruda para potabilizar emitida en el Decreto No. 51 en el Reglamento Sobre La Calidad Del Agua, El Control De Vertidos Y Las Zonas De Protección. Niveles (MARN, 2012b), altos de oxígeno disuelto indican una mejor calidad. En cambio, si los niveles son muy bajos, será muy difícil la supervivencia de cualquier organismo.

2.1.8 Sodio

Un comparativo realizado por CEL *en el año 2007* registró una concentración promedio de sodio de 21.5% para la época de verano, contra un 17% registrado en la época de invierno, según la normativa de agua para riego emitida en el Decreto No. 51. en el Reglamento Sobre La Calidad Del Agua, El Control De Vertidos Y Las Zonas De Protección, los rangos deseables de concentración Na se encuentran entre 30 – 60 mep/L (MARN, 2012b).

2.1.9 Solidos Disueltos Totales

En el estudio realizado por Alegría, P. M. et al (2019) el total de solidos disueltos en el punto de muestreo del embalse Cerrón Grande fue de 162 ppm, según la normativa para agua cruda para potabilizar emitida en el Decreto No. 51 el valor máximo permitido es de 0.08 mg/l.

2.1.10 Sulfatos

En las investigaciones estudiadas para el año 2007 se encontraron valores de 9 ppm (Frente a San Francisco Lempa Superficie) a 34 ppm (Puente Colima), para el

año 2008 y 2009 se encontraron valores de 10 a 18 ppm y 10 a 39 ppm, enfrente de Suchitoto y en la intersección del Embalse Cerrón Grande y el rio Acelhuate, respectivamente. El valor máximo permitido es 200 mg/l, según la normativa para agua cruda para potabilizar, emitida en el Decreto No. 51, en el Reglamento Sobre La Calidad Del Agua, El Control De Vertidos Y Las Zonas De Protección (MARN, 2012b).

2.1.11 Fenoles

No se encuentran registros que reporten contaminación por compuestos fenólicos que deterioran significativamente la calidad del agua.

2.2 COBERTURA DE LA MALEZA ACUÁTICA DENTRO DEL LAGO SUCHITLÁN UTILIZANDO TELEDETECCIÓN

La Teledetección de recursos naturales se basa en un sistema de adquisición de datos a distancia sobre la biosfera, que está basado en las propiedades de la radiación electromagnética y en su interacción con los materiales de la superficie terrestre (Sacristán Romero,2007).

Todos los elementos de la Naturaleza tienen una respuesta espectral propia que se denomina signatura espectral. La Teledetección estudia las variaciones espectrales, espaciales y temporales de las ondas electromagnéticas, y pone de manifiesto las correlaciones existentes entre éstas y las características de los diferentes materiales terrestres. Su objetivo esencial se centra en la identificación de los materiales de la superficie terrestre y los fenómenos que en ella se operan a través de su signatura espectral (Sacristán Romero,2007).

La combinación de imágenes periódicas con resoluciones espectrales en el infrarrojo próximo, hacen de la teledetección una herramienta útil para la detección, localización y seguimiento del tipo de especies invasoras, especialmente cuando se desarrollan a lo largo de cientos de kilómetros de los lagos o lagunas.

Para realizar una evaluación cuantitativa de la biomasa de la vegetación verde, es conveniente hacerlo a través de modelos de índices de vegetación (VI). Estos índices son aplicables a imágenes con diferentes resoluciones como NOAA

AVHRR, LANDSAT TMS, MSS (Multispectral Scanner Scenes), SPOT HRV/XS (reflectancias para el nivel 1 multiespectral) (Gómez Almonte,2005).

2.2.1 Índices de Vegetación

Los índices de vegetación son obtenidos a partir de imágenes áreas y satelitales y pueden usarse para estimar cambios en el estado de la vegetación, la biomasa, índice de área foliar y la concentración de la clorofila. La biomasa presenta diversas metodologías para poder estimarla que están basados en medidas de campo que a pesar de ser un método directo siguen siendo muy limitados. En la actualidad, el uso de sensores remotos, proporcionan un método para generar información sobre la biomasa bastante adecuado (Carita, 2018).

La determinación de los índices de vegetación es calculada a partir de la relación entre las reflectancias del espectro electromagnético. Un índice de vegetación muy simple puede ser debido a los cambios en los dos rangos del espectro rojo e infra-rrojo, logrados dividiendo la medida de la reflectancia del infrarrojo por la del rojo. A mayor contraste entre las medidas del rojo e infrarrojo mayor vigor vegetal presentará la cubierta observada (más alta será la relación entre los sitios donde hay vegetación). Bajos valores de contraste significan una vegetación enferma hasta llegar a zonas sin vegetación (suelo y agua), cuyo resultado de la relación es muy pequeño (Gómez Almonte, 2005).

2.2.2.1 Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

El índice ampliamente usado en el monitoreo de la vegetación es el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), que es la relación de la reflectancia en el infrarrojo cercano y rojo del espectro electromagnético.

El NDVI ayuda a diferenciar la vegetación de otros tipos de cobertura del suelo (artificial) y determinar su estado general. También permite definir y visualizar áreas con vegetación en el mapa, así como detectar cambios anormales en el proceso de crecimiento (Toribio, 2019).

El valor del NVDI puede variar en función del uso del suelo, estación fenológica, situación hídrica del territorio y ambiente climático de la zona (Gómez Almonte, 2005).

Los resultados del cálculo del NDVI varían de -1 a 1. Los valores negativos generados por una mayor reflectancia en el visible que en el infrarrojo, corresponden a áreas con superficies de agua, estructuras artificiales, rocas, nubes, nieve; el suelo

desnudo generalmente cae dentro del rango de 0.1 a 0.2; y las plantas siempre tendrán valores positivos entre 0.2 y 1. El dosel de vegetación sano y denso debería estar por encima de 0.5, y la vegetación dispersa probablemente caerá dentro de 0.2 a 0.5 como plantas acuáticas, pantanos menos densos. Sin embargo, es solo una regla general y siempre debe tener en cuenta la temporada, el tipo de planta y las peculiaridades regionales para saber exactamente qué significan los valores de NDVI (Toribio, 2019).

El valor del NDVI puede oscilar entre –1 y 1, sin embargo, el rango real es reducido. Por ejemplo: (1) Nubes < 0.01, (2) Suelo árido < 0.1, (3) Vegetación ligera entre 0.1 y 0.2, (4) Vegetación media entre 0.2 y 0.4, (5) Vegetación alta > 0.4 (Gómez Almonte, 2005).

En condiciones normales, la vegetación viva tiene reflectancia baja en el espectro VIS y alta en el espectro NIR. Cuando una cobertura vegetal se encuentra en estrés, tiende a absorber menos radiación solar en el VIS aumentando su reflectancia y a absorber más en el NIR. De esta manera, la diferencia de reflectancia de los canales correspondientes: ρ2–ρ1 (índice diferencial) tiende a decrecer cuando la cobertura vegetal está afectada por algún factor de estrés (deficiencia de agua, enfermedades, plagas, etc.) (Gómez Almonte, 2005).

El Índice de Vegetación por Diferencia Normalizada se define como:

$$\mathrm{NDVI} = \frac{\mathrm{NIR\ (band\ 5)} - \mathrm{R\ (band\ 4)}}{\mathrm{NIR\ (band\ 5)} + \mathrm{R\ (band\ 4)}}$$

Ecuación 2.1 Índice de Vegetación por Diferencia Normalizada.
Fuente: Henríquez, Quintanilla, Rodríguez y Pocasangre, (2019).

Donde NIR representa la banda del infrarrojo cercano (Banda 5) y R representa la banda roja (Banda 4).

Las bandas Landsat visible e infrarrojo cercano se utilizaron para calcular el índice de diferencia de vegetación normalizada (NDVI). La importancia de estimar el NDVI es esencial ya que la cantidad de vegetación presente es un factor importante y el NDVI puede usarse para inferir el estado general de la vegetación acuática en el lago.

2.2.2 Metodología

Para estimar la cobertura de jacinto de agua *(E. crassipes)* en el lago Suchitlán se utilizó la herramienta del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) “EarthExplorer” la cual proporciona capacidades de búsqueda y pedido de imágenes de satélite, fotografías aéreas y productos cartográficos, para la obtención del conjunto de datos se utilizó el sensor óptico satelital LANDSAT, el cual contiene imágenes de alta resolución. Los conjuntos de datos de Landsat 8 se encuentran en "Landsat collection 1 level-1" y permite especificar restricciones adicionales específicas para el conjunto de datos seleccionado. Posteriormente la colección de imágenes se procesó en el software libre QGIS (anteriormente llamado también Quantum GIS) el cual es un Sistema de Información Geográfica (SIG) en ingles Geographic Information System (GIS) de software libre para plataformas GNU/Linux, Unix, Mac OS, Microsoft Windows y Android y soporta numerosos formatos y funcionalidades de datos vector, datos ráster y bases de datos, en este se obtuvieron los índices de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) de las imágenes, calculados a partir de la relación entre las reflectancias del espectro electromagnético y basados en Transformaciones Ortogonales, posteriormente se hizo un barrido en las curvas de niveles para hacer la medición del área de jacinto de agua *(E. crassipes)* sano y el área ocupada por el agua del lago.

Dentro de la página EarthExplorer (earthexplorer.usgs.gov), en la pestaña "Criterios de búsqueda", se seleccionó el área geográfica donde se encuentra el lago siguiendo las coordenadas geográficas centro: 14°03’ N y 89°04’ O, límite sudoccidental: 13°58’ N y 89°13’ O y límite nororiente: 13°58’ N y 88°52’ O (MARN, 2004), mientras que para el rango temporal se seleccionaron las fechas 15/02/2014, 21/02/2016, 26/02/2018 y 16/02/2020 con el objetivo de realizar una comparación a través del tiempo de la proliferación de jacinto de agua *(E. crassipes)* dentro del lago.

En la sección de "Conjuntos de datos", se seleccionaron los conjuntos de datos de Landsat 8 level 1 y se colocó un filtro para recolectar imágenes con menos del 10% de nubosidad. Una vez establecidos todos los parámetros, la pestaña "Resultados" devuelve los resultados del conjunto de datos en la interfaz de Google Map y los conjuntos de datos disponibles se enumeran en la barra lateral izquierda. Se descargó la escena de nivel 1 de Landsat para las coordenadas del lago, la cual está compuesta por 13 archivos: 11 archivos en GeoTIFF correspondientes a cada una de las 11 bandas registradas por el satélite, un archivo con metadatos (MTL) y uno más con una evaluación de la calidad de la escena (QA).

El archivo se descomprimió y las bandas 4 y 5 fueron cargadas en el software libre QGIS, y se prosiguió a utilizar la metodología de cálculo de área a través de los índices de vegetación. Utilizando la calculadora de campos de QGIS, se obtiene el NDVI de la imagen satelital contrastando las bandas 4 y 5, posteriormente se hace una extracción de las curvas de nivel, las cuales, en un mapa, es una línea que, une los puntos (cotas) que tienen el mismo valor de altitud y suelen representarse en tonalidades marrones para el terreno, tonalidades verdes para vegetación y tonalidades azules para glaciares y mares y océanos.

2.2.3 Resultados Obtenidos

Las figuras presentadas a continuación muestran los resultados obtenidos mediante el método de teledetección en el software QGIS del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), curvas de nivel extraídas, área cubierta por la maleza acuática sana y el área cubierta por agua dentro del lago de Suchitlan.

2.2.3.1 Resultados del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

Las figuras 2.2, 2.3, 2.4 y 2.5 presentadas a continuación muestran los resultados del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) obtenidos a través del contraste de las bandas 4 y 5 mediante el método de teledetección en el software QGIS para los años 2014, 2016, 2018 y 2020 respectivamente.

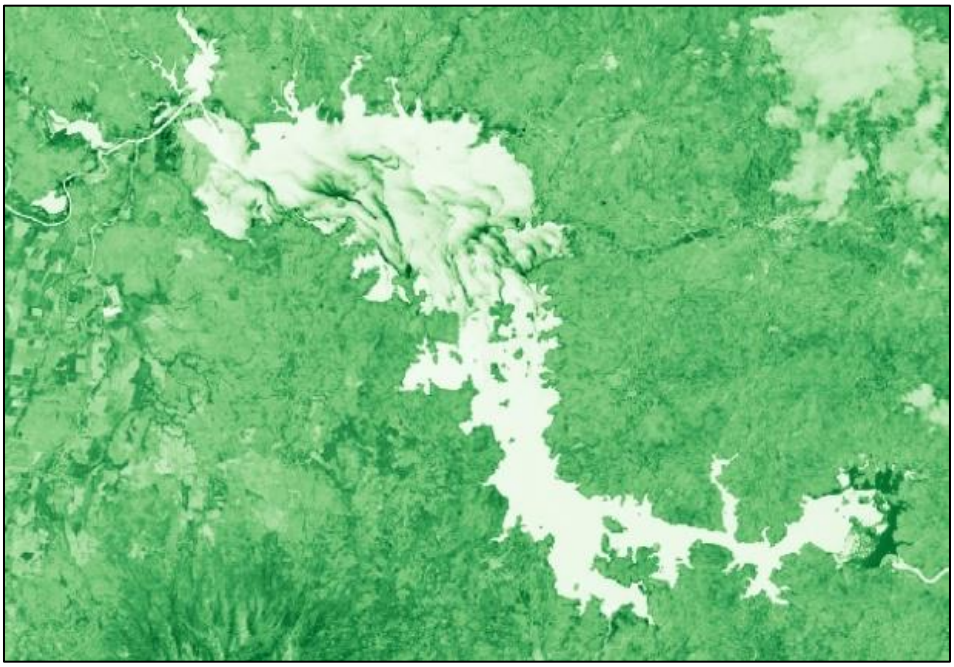

Figura 2.2 NDVI para el año 2014 obtenido por el método de teledetección a partir del contraste de las bandas 4 y 5 en el software libre QGIS.

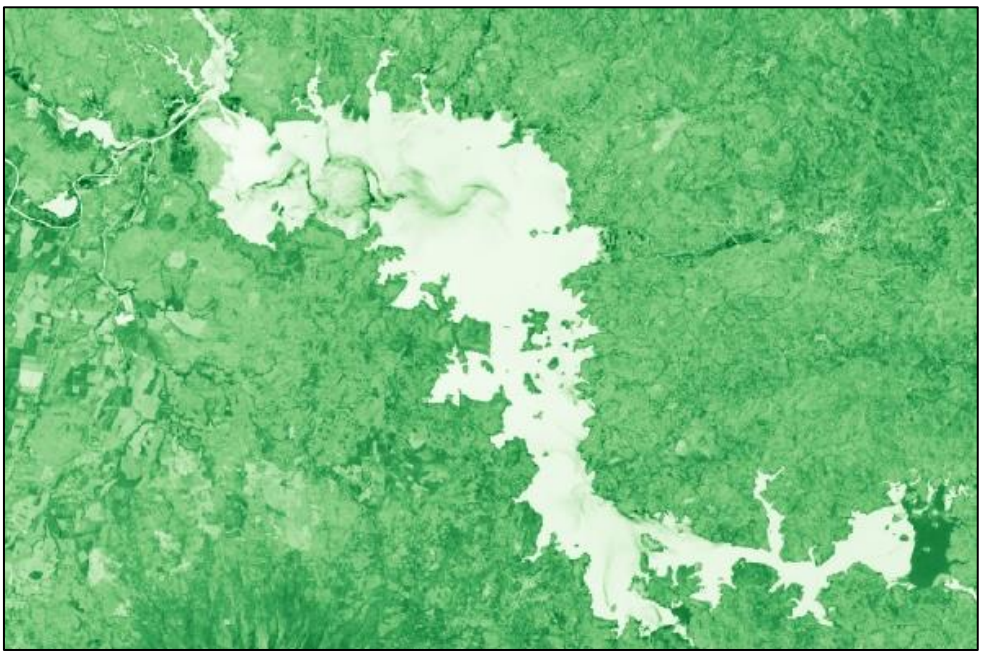

Figura 2.3 NDVI para el año 2016 obtenido por el método de teledetección a partir del contraste de las bandas 4 y 5 en el software libre QGIS.

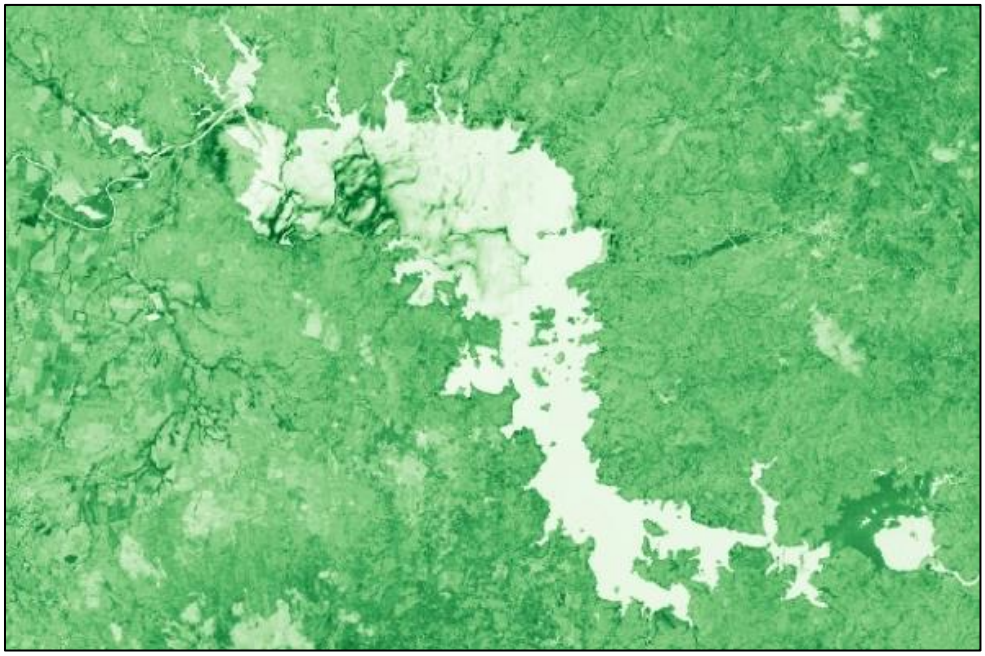

Figura 2.4 NDVI para el año 2018 obtenido por el método de teledetección a partir del contraste de las bandas 4 y 5 en el software libre QGIS.

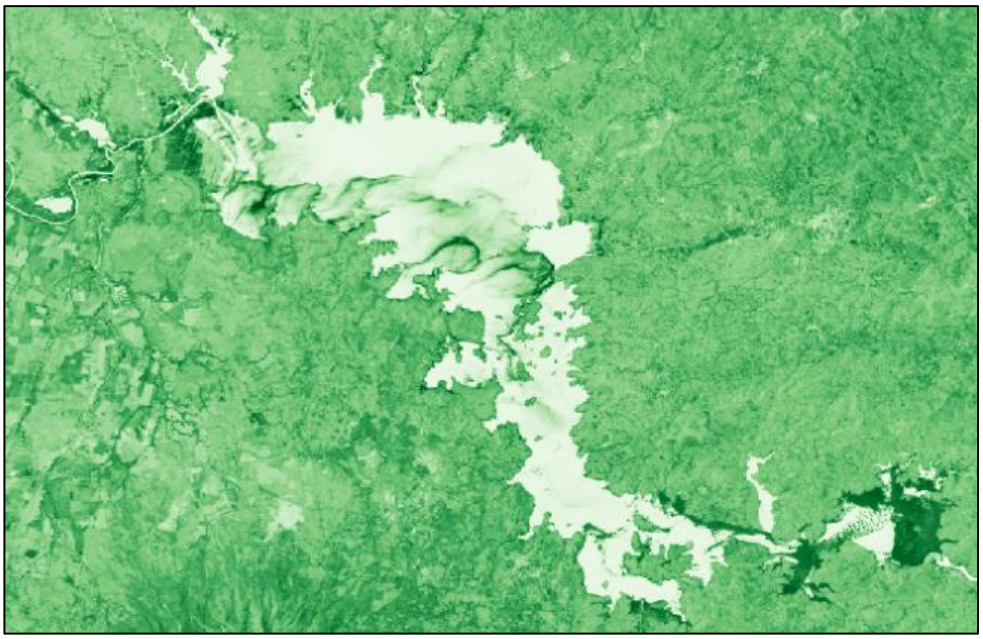

Figura 2.5 NDVI para el año 2020 obtenido por el método de teledetección a partir del contraste de las bandas 4 y 5 en el software libre QGIS.

2.2.3.2 Resultados Curvas de Nivel

Las curvas de nivel extraídas de las imágenes satelitales para los años 2014, 2016, 2018 y 2020 se muestran en las figuras 2.6, 2.7, 2.8 y 2.9 respectivamente.

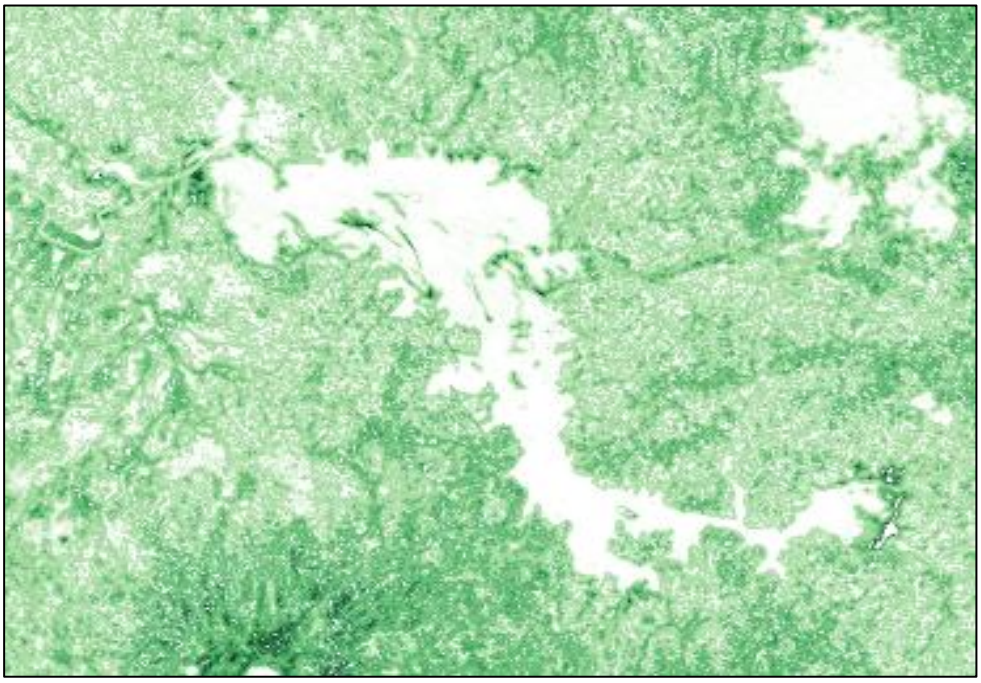

Figura 2.6 Curvas de nivel extraídas para el año 2014 por el método de teledetección a partir del contraste de las bandas 4 y 5 en el software libre QGIS.

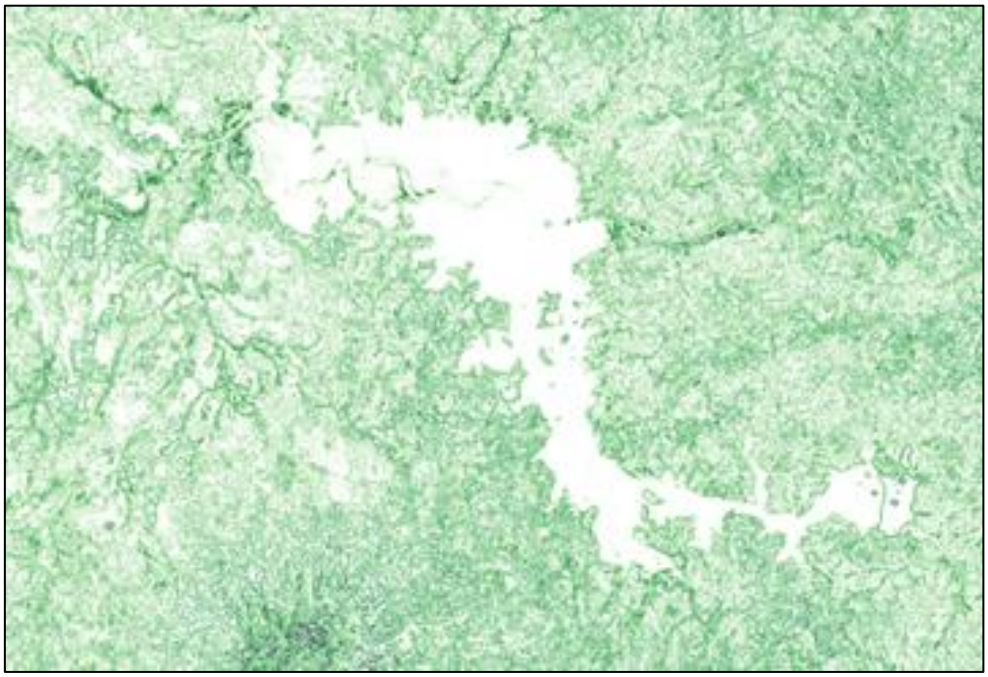

Figura 2.7 Curvas de nivel extraídas para el año 2016 por el método de teledetección a partir del contraste de las bandas 4 y 5 en el software libre QGIS.

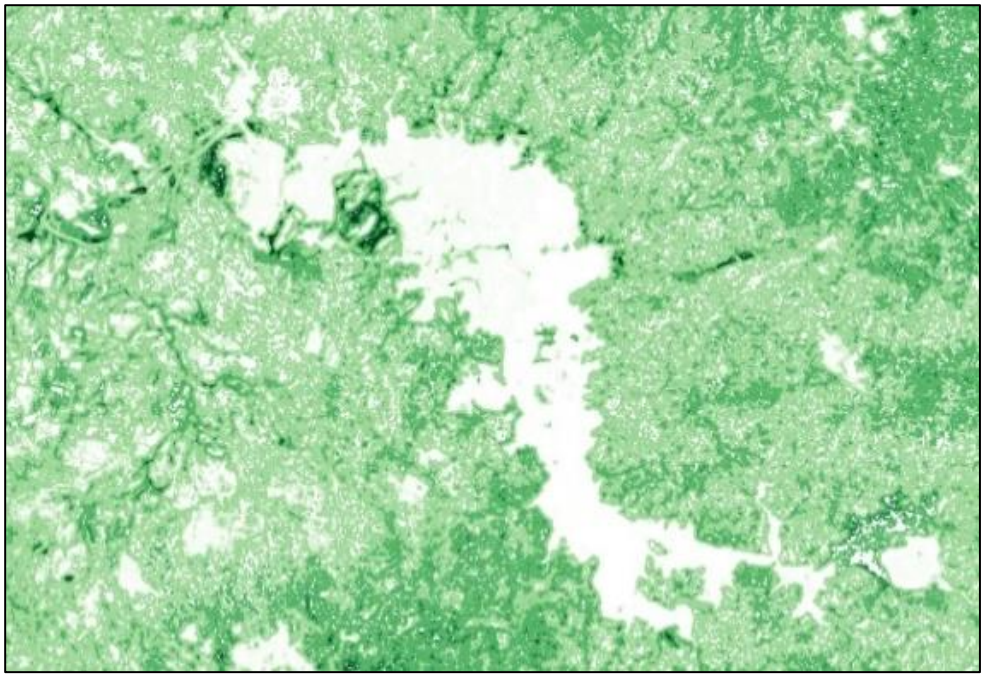

Figura 2.8 Curvas de nivel extraídas para el año 2018 por el método de teledetección a partir del contraste de las bandas 4 y 5 en el software libre QGIS.

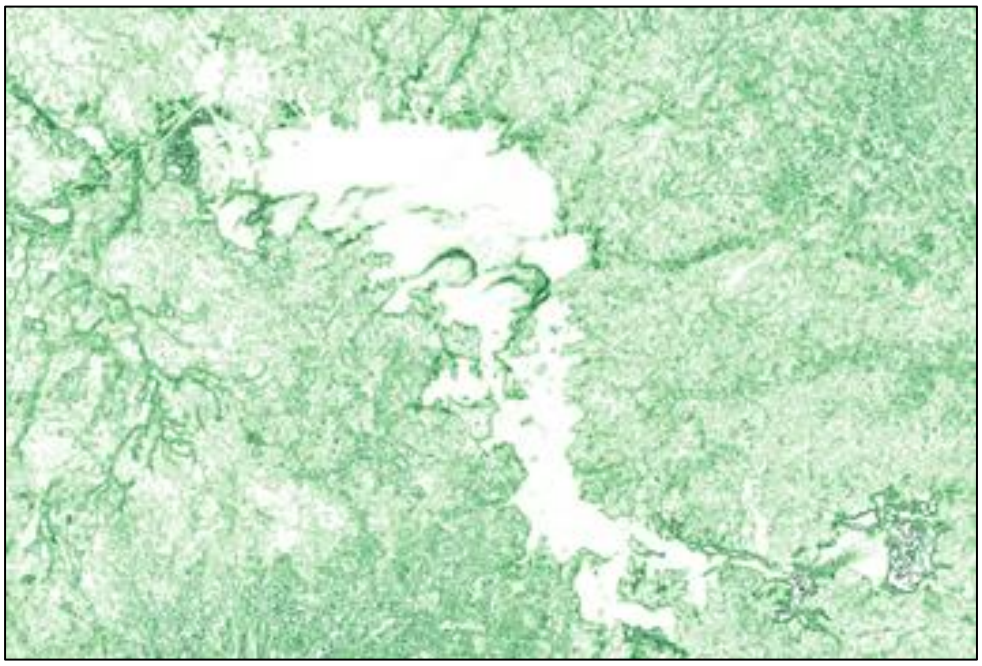

Figura 2.9 Curvas de nivel extraídas para el año 2020 por el método de teledetección a partir del contraste de las bandas 4 y 5 en el software libre QGIS.

2.2.3.3 Área del lago cubierta por la maleza acuática sana

El contraste de las bandas 4 y 5 utilizando el método de teledetección con la calculadora de campos del software libre QGIS, permitió determinar que los valores de NDVI para el área evaluada varían de -0.15 a 0.55, estos valores se separaron en dos capas, la primer capa corresponde al área del lago cubierta por la vegetación acuática sana (en color verde) con valores de NDVI de 0.35 a 0.55, la segunda capa corresponde el área del agua del lago (en color azul) con valores de NDVI de -0.15 a 0.00, el área restante corresponde al área cubierta por vegetación acuática enferma.

En el anexo A se presentan las tablas atributo-área cubierta por agua y maleza acuática sana para los diferentes años generadas en QGIS.

Las figuras 2.10, 2.11, 2.12 y 2.13 presentadas a continuación muestran los resultados del área cubierta por la maleza acuática sana dentro del lago Suchitlán para los años 2014, 2016, 2018 y 2020 respectivamente.

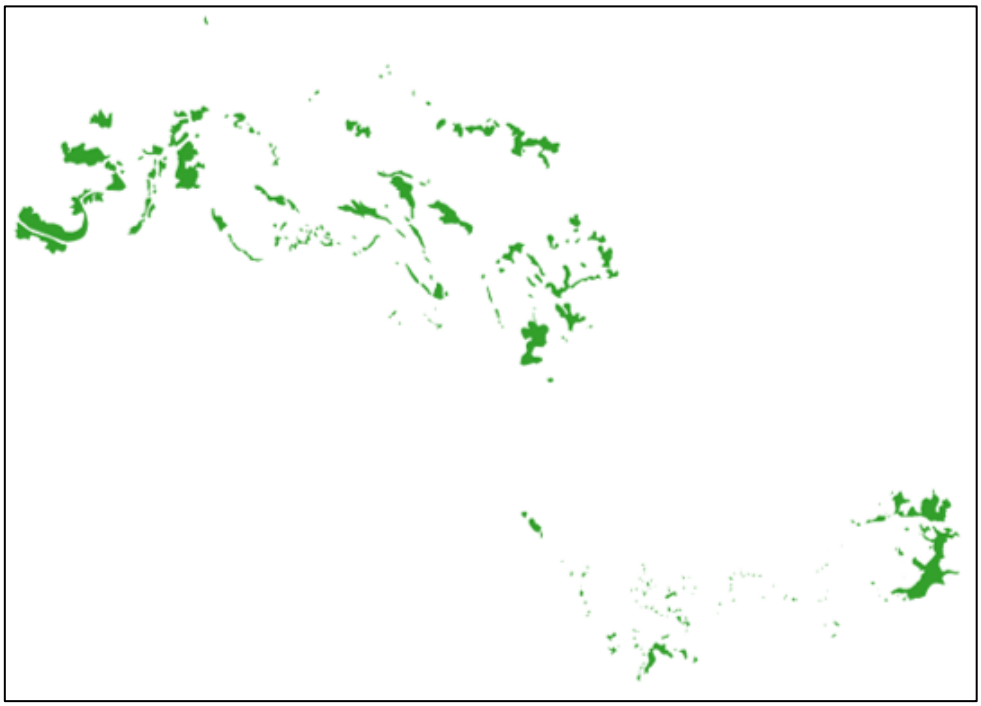

Figura 2.10 Área cubierta por la maleza acuática sana en el año 2014 obtenida a partir del NDVI en QGIS.

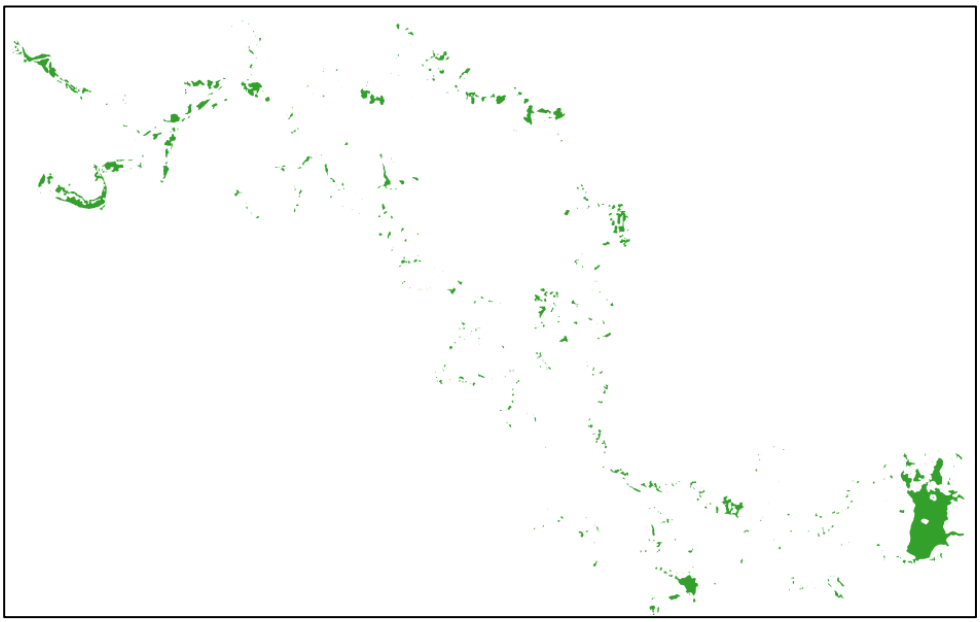

Figura 2.11 Área cubierta por la maleza acuática sana en el año 2016 obtenida a partir del NDVI en QGIS.

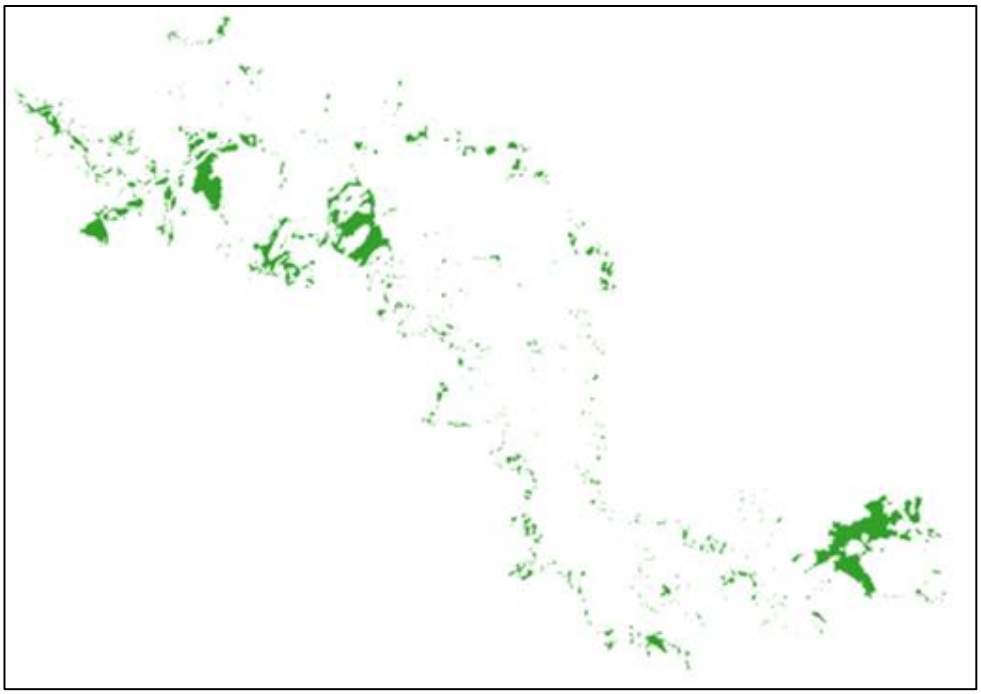

Figura 2.12 Área cubierta por la maleza acuática sana en el año 2018 obtenida a partir del NDVI en QGIS.

Figura 2.13. Área cubierta por la maleza acuática sana en el año 2020 obtenida a partir del NDVI en QGIS.

2.2.3.4 Área cubierta por agua

Las figuras 2.14, 2.15, 2.16 y 2.17 presentadas a continuación muestran los resultados del área cubierta por agua dentro del lago Suchitlán para los años 2014, 2016, 2018 y 2020 respectivamente.

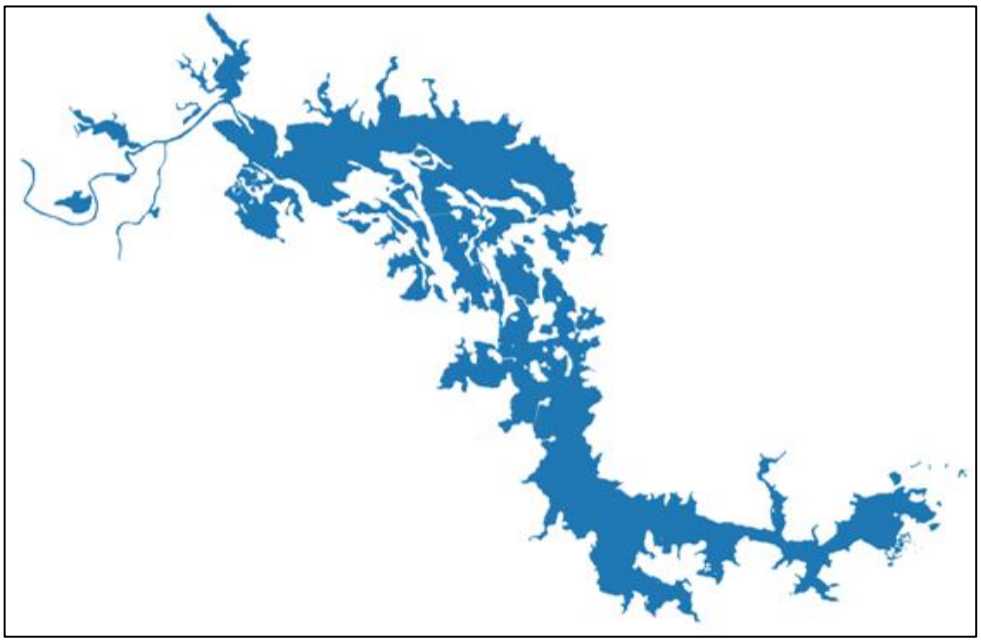

Figura 2.11 Área cubierta por agua en el año 2014 obtenida a partir del NDVI en QGIS.

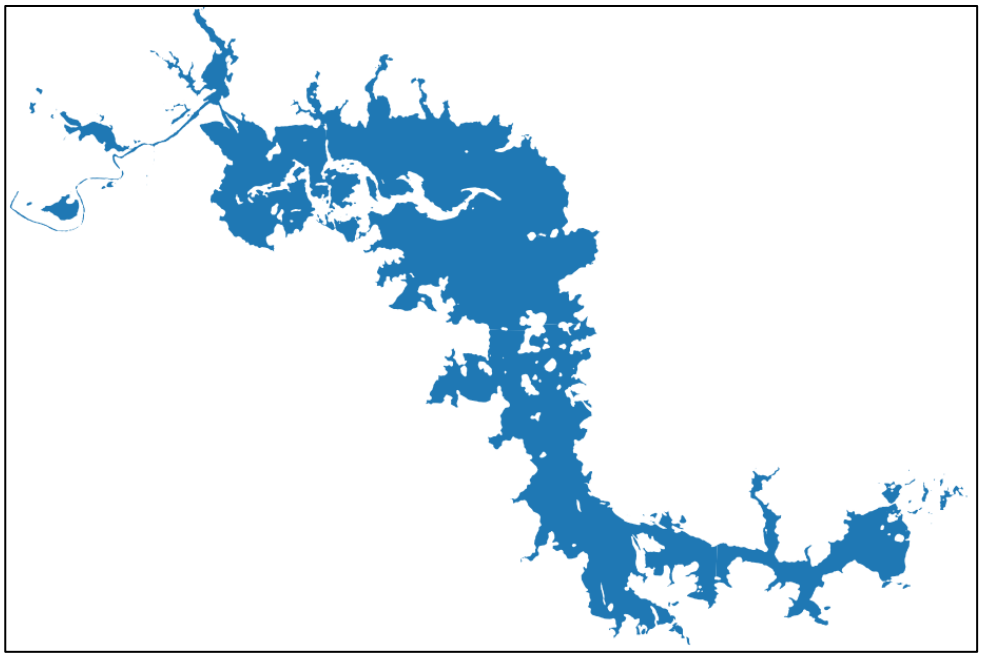

Figura 2.13 Área cubierta por agua en el año 2016 obtenida a partir del NDVI en QGIS.

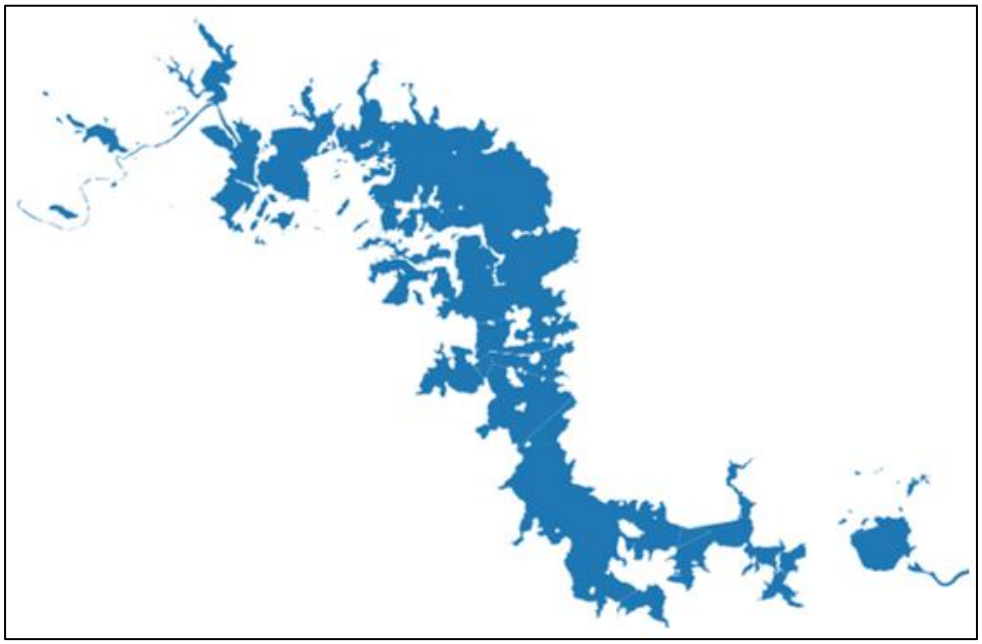

Figura 2.15 Área cubierta por agua en el año 2018 obtenida a partir del NDVI en QGIS.

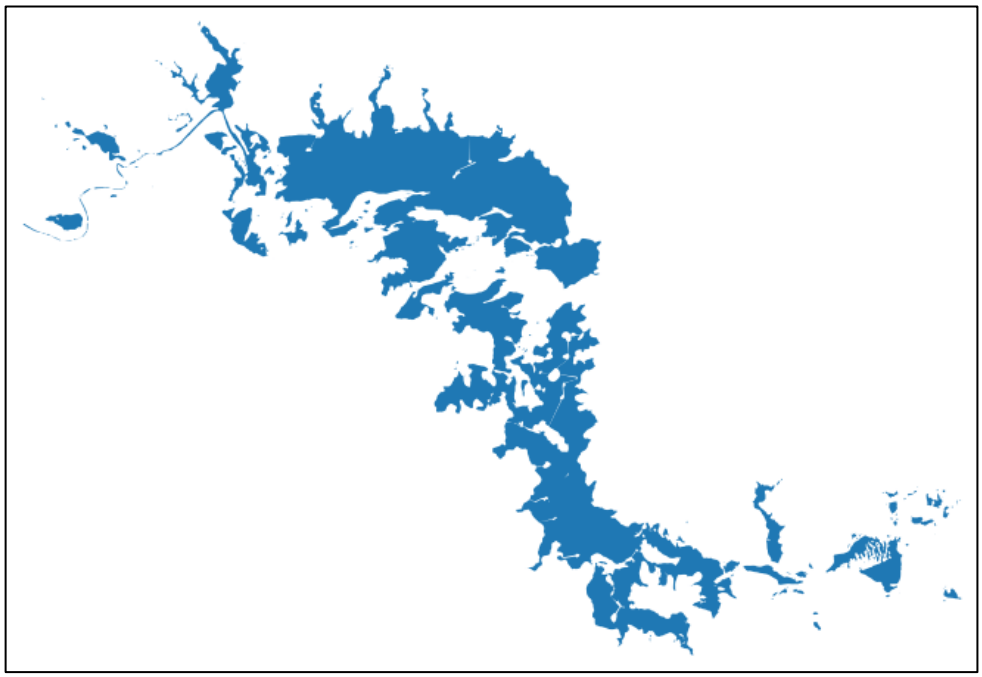

Figura 2.17 Área cubierta por agua en el año 2020 obtenida a partir del NDVI en QGIS.

2.2.4 Análisis de Resultados

Los resultados obtenidos al determinar el área y porcentaje de cobertura de agua y maleza acuática sana y enferma en el lago de Suchitlan por métodos de teledetección en QGIS y utilizando imágenes satelitales de Google Earth se presentan en la tabla 2.2 y muestran que con el paso del tiempo el área cubierta por la maleza acuática sana y enferma aumenta.

Tabla 2.2 Área y porcentaje de cubertura de agua y maleza acuática sana y enferma en el lago de Suchitlán, calculado con método de teledetección en QGIS.

Fecha	**Área cubierta por agua** NDVI < 0.00		**Área cubierta por maleza acuática sana** NDVI > 0.35		**Área cubierta por maleza acuática enferma** 0.00 < NDVI < 0.35	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%
15/2/2014	8329.068	61.697	1179.301	8.736	3991.631	29.568
21/2/2016	9189.5625	68.071	799.5474	5.923	3510.890	26.007
26/2/2018	7930.5293	58.745	1615.9787	11.970	3953.492	29.285
16/2/2020	7151.747	52.976	2136.6551	15.827	4211.598	31.197

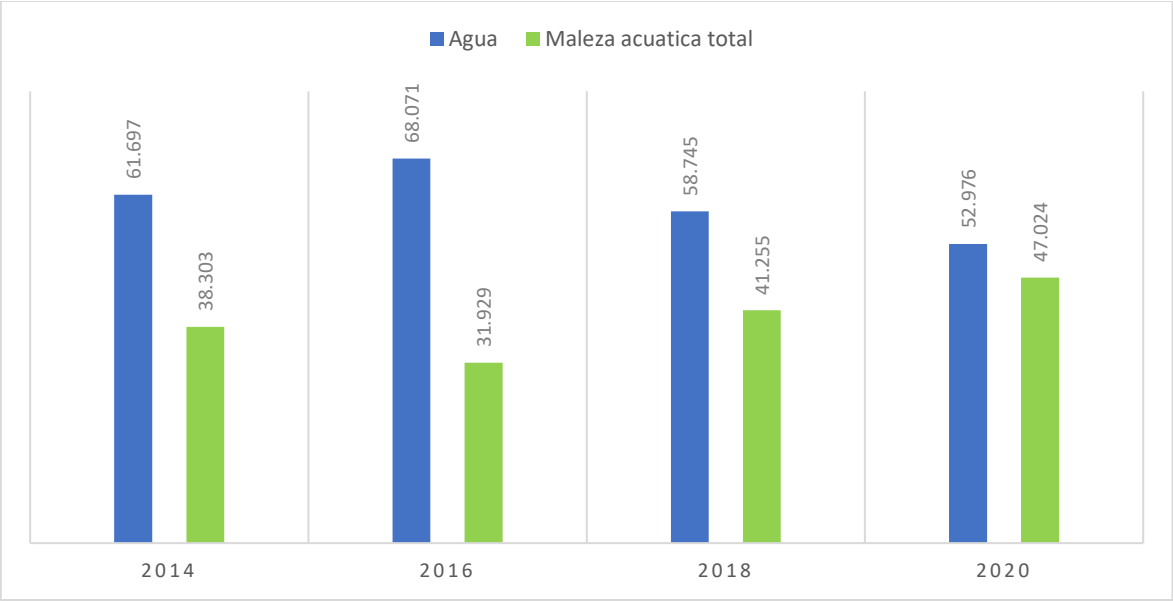

Figura 2.18 Porcentaje de cobertura de agua y maleza acuática en el lago de Suchitlán, determinada con método de teledetección en QGIS.

La grafica de la figura 2.18 muestra el aumento del porcentaje de cobertura de maleza acuática total (sana y enferma) y la disminución del porcentaje de cobertura de agua a lo largo de los años en el lago de Suchitlán, mientras que la gráfica de la figura 2.19 muestra la variación del porcentaje de agua y maleza acuática sana y medianamente sana para los años 2014, 2016, 2018 y 2020:

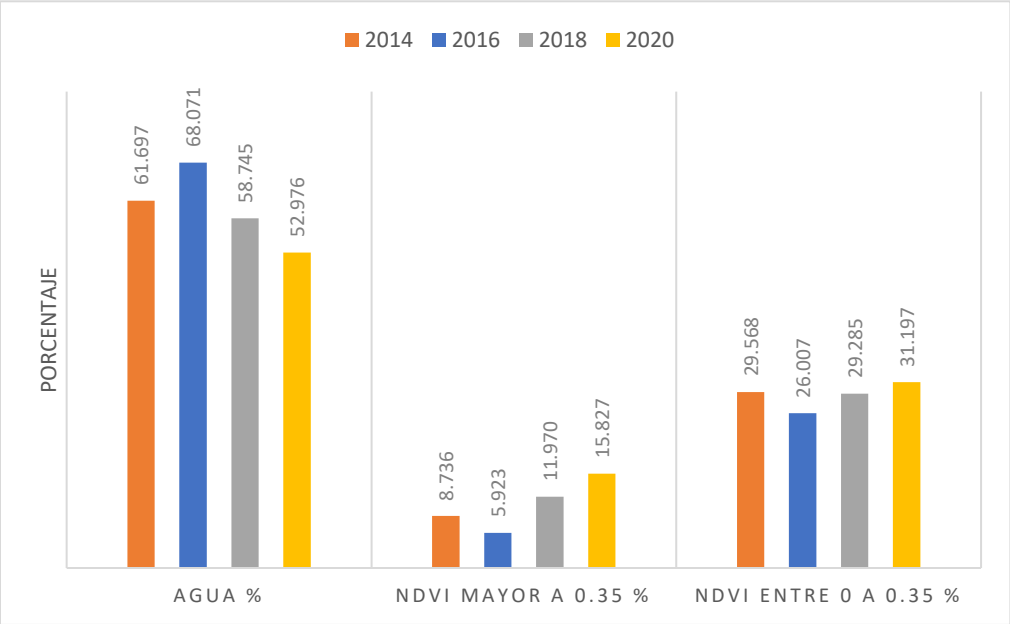

Figura 2.19 Variación del porcentaje de agua y maleza acuática sana y medianamente sana 2014-2020, determinada con método de teledetección en QGIS.

2.3 MÉTODO DE EVALUACIÓN RÁPIDA DE INVASIVIDAD (MERI) PARA LA ESPECIE *Eichhornia crassipes*

El jacinto de agua (*E. crassipes*), es una especie originaria de Brasil, se introdujo a otros países como especie ornamental por sus vistosas flores lilas y posiblemente también como alimento de peces. La planta suele presentar un carácter invasor muy agresivo, reproduciéndose rápidamente, forma densos bloques flotantes que dificultan la navegación, pesca y turismo, reducen la entrada de luz a los cuerpos de agua y la cantidad de oxígeno disuelto, es por ello que es considerada entra 100 especies exóticas invasoras más dañinas del mundo según la UICN (Lowe et al, 2004). La figura 2.20 muestra parte del lago Suchitlán cubierto por jacinto de agua *(E. crassipes)* en el mes de noviembre del año 2019.

Información taxonómica (Albano Pérez, 2012)

a) Reino: Plantae
b) División: Magnoliophyta (angiospermas)
c) Clase: Liliopsida (monocotiledóneas)
d) Orden: Commelinales
e) Familia: Pontederiácea
f) Género: Eichhornia
g) Especie: Eichhornia crassipes (Mart.) Solms

Resultado: 0.7875
Categoría de riesgo: Muy alto

Figura 2.20 Fotografía del jacinto de agua (*E. crassipes*) en el lago Suchitlán.

1. **Antecedentes como especie invasora**

Según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN), una "especie exótica invasora" es aquella que se establece en una ecosistema o hábitat natural o seminatural; es una agente de cambio y amenaza la diversidad biológica nativa.

A. Muy alto: Uno o más análisis de riesgo identifican a la especie como invasora de alto impacto en cualquier país o esta reportada como invasora en El salvador.

El jacinto de agua (*E. crassipes*), está considerado dentro de las 100 especies exóticas invasoras más dañinas y peligrosas del mundo (Lowe et al, 2004). Además, esta especie está incluida desde el 2016, en la Lista de especies exóticas invasoras

preocupantes para la Unión Europea, creada a través del Reglamento (UE) 1143/2014 del Parlamento Europeo y del Consejo de 22 de octubre de 2014, sobre la prevención y la gestión de la introducción y propagación de especies exóticas invasoras.

En el caso de México, se reconoce como plaga desde 1907 y está incluida en el Listado de Especies Exóticas Invasoras registrada por las brigadas forestales de México (Born-Schmidt, et al., 2017).

La planta suele presentar un carácter invasor muy agresivo propiciada por un conjunto de factores vinculados tanto a la biología de la especie como a la acción humana, colonizando rápidamente todo el medio que le resulta favorable. Tiene una tendencia demográfica muy errática, con apariciones locamente masivas y a veces también con 6desapariciones repentinas (Pirvu, 2019).

2. **Relación con taxones invasores**

Evidencia documentada de invasividad de una o más especies con biología similar a la de la especie que se está evaluando (*Eichhornia crassipes)*. las especies invasoras pueden poseer características no deseadas que no necesariamente tienen el resto de las especies relacionadas taxonómicamente.

B. Alto: Evidencia de que la especie pertenece a un género (*Eichhornia*) en el cual existen otras especies invasoras.

El género *Eichhornia* se integra en la familia de las Pontederiáceas y lo forman 7 especies de plantas vivaces acuáticas originarias de la América tropical y el sudeste de Norteamérica, entre las principales se encuentran, *Eichhornia azurea, Eichhornia crassipes, Eichhornia diversifolia, Eichhornia martiana, Eichhornia natans, Eichhornia paniculata.*

La *Eichhornia azurea* es una planta acuática invasiva común en humedales del neo trópico, catalogada como mala hierba. Su reproducción es muy rápida y eficiente, teniendo la capacidad de producir más de 5,000 semillas por individuo, generando cada a su vez mas de 1,200 plantas por reproducción vegetativa. (Rodríguez, Franceschini, Martínez y Sosa, 2017).

La *E. azurea* está catalogada como potencialmente invasiva y ha sido registrada como de alta capacidad de proliferación principalmente en zonas de flujo lento y época de aguas altas, según INVAWET, 2018. La tabla 2.3 muestra las características biológicas y ecológicas que favorecen el potencial invasivo de las plantas potencialmente invasivas entre las cuales se encuentra la *E. azurea.*

Tabla 2.3 Características biológicas y ecológicas que favorecen el potencial invasivo de las plantas potencialmente invasivas en la ciénaga Santo Tomas, Colombia.

Características que favorecen el potencial invasivo	***E. azurea***	*L. subintegra*	*H. amplexicaulis*	*L. aquatica*	*L. aequinoctialis*	*L. helminthorrhiza*	*M. pigra*	*O. cubense*	*P. stratiotes*	*S. auriculata*
Crecimiento rápido	**X**		x		x	x			X	x
Alto potencial reproductivo	**X**		x	x	x	x		x	X	x
Reproducción asexual	**X**	x	x		x	x		x	X	x
Ciclo de vida largo			x			x	X			
Semillas o propágulo viables por más de un año	**X**	x	x	x						
Pionero en áreas perturbadas			x				X			
Poco enemigos naturales	**X**									x
Adaptable a diferentes ambientes	**X**		x	x	x	x		x	X	x
Altamente móvil localmente	**X**	x	x		x		X		X	x
Se beneficia de intervenciones como cultivo, fragmentación, fuego, etc.	**X**	x		x	x		X	x	X	x
Amplio rango nativo			x					x	X	x
Invasivo en su rango nativo	**X**		x	x						x
Invasivo fuera de su rango nativo		x	x	x	x		X		X	x

Fuente: INVAWET (2018).

3. Vector de otras especies

La especie tiene el potencial de transportar otras especies invasoras (es un vector) o patógenos y parásitos de importancia o impacto para la biodiversidad, la economía y la salud pública (por ejemplo, aquí se marca si es vector de rabia, psitacosis, virus del Nilo, cianobacterias, etc.).

C. Alto: En los cuerpos de agua donde se presenta alta cobertura de jacinto de agua *(E. crassipes)* se presenta la proliferación de roedores y zancudos que sirven como vectores de enfermedades. Así mismo, E. crassipes, proporciona un hábitat ideal para especies consideradas de alto riesgo para la salud humana como el mosco Anopheles sp., que transmite la malaria, el mosco Mansoria sp., que transmite la encefalitis y el mosco Culex sp., portador de la filaria (CONABIO, 2015).

Por otro lado, se vincula con su capacidad de servir como hábitat para distintas especies de insectos considerados como plagas de cultivos, o incluso vectores de

enfermedades para el ganado o el hombre (Ramil Rego, Rubinos Román, Goméz Orellana, Rodriguez y Hinojo Sanchez, 2014).

4. **Riesgo de entrada**

Probabilidad que tiene la especie de llegar al país o de que continúe introduciéndose (en caso de que ya esté presente o se trate de una traslocación). Destaca la importancia de la vía o el número de vías por las que entra la especie al territorio nacional. Interviene también el número de individuos y la frecuencia de introducción.

A. Muy Alto: Evidencia de que la especie tiene alta demanda, tiene un uso tradicional arraigado o es esencial para la seguridad alimentaria; o bien tiene la posibilidad de entrar al país o entrar a nuevas áreas por una o más vías; el número de individuos es considerable y la frecuencia de la introducción es alta o está asociada con actividades que fomentan su dispersión o escape. No se tienen medidas para controlar la introducción de la especie al país.

El llamado camalote o jacinto de agua *(E. crassipes)*, especie de la familia Pontederiaceae nativa del Amazonas, se ha expandido sin control en la mayoría de los países tropicales y ecuatoriales. La causa es su empleo en jardinería y como depuradora de aguas, iniciada ya en el siglo XIX en los EE.UU. (Ruiz Téllez, Brufao Curiel, Blanco Salas y Vásquez Pardo, 2016). También, es utilizado en menor proporción como alimento para animales como cerdos y ganado.

El jacinto de agua *(E. crassipes)* fue propagado y extendido por jardineros y particulares para ornamentar estanques y canales. En algunos territorios de Asia, África y América del Sur, su difusión se vio además favorecida al ser empleado como elemento para la obtención de biomasa destinada bien a la alimentación del ganado, producción de biogás o como abono (Ding, Wang, Fu y Zhang, 2001). En otros casos su cultivo se relacionó con la capacidad filtradora de la planta, que debido a su rápido desarrollo es capaz de extraer del agua cantidades importantes de nutrientes y de ciertos contaminantes.

5. **Riesgo de establecimiento**

Probabilidad que tiene la especie de reproducirse y fundar poblaciones viables en una región fuera de su rango de distribución natural. Este indicador toma en cuenta la disponibilidad de medidas para atenuar los daños potenciales. En el caso de especies exóticas ya establecidas o de nativas traslocadas se debe evaluar el riesgo de establecimiento en nuevos sitios donde no se han reportado previamente.

A. Muy Alto: Evidencia de que más de una población de la especie se ha establecido exitosamente y es autosuficiente en al menos una localidad fuera de

su rango de distribución nativa, y se está incrementando el número de individuos. Especies con reproducción asexual, hermafroditas, especies que puedan almacenar los gametos por tiempo prolongado, semillas, esporas o quistes de invertebrados que permanecen latentes por varios años. No hay medidas de mitigación.

La reproducción del jacinto de agua *(E. crassipes)* puede ser sexual o vegetativa (por estolones o fragmentos de plantas), siendo esta última la más importante. Bajo condiciones adecuadas, el jacinto de agua *(E. crassipes)* es capaz de duplicar su biomasa entre 5 a 12 días, produce además un fruto en cápsula membranosa, con tres lóbulos y los cuales contienen en su interior de 3 a 450 semillas que pueden conservar su capacidad germinativa entre 5 y 20 años (Cabrera Lizama, W. A., Cruz Rubio, N. M. y Ramírez Gómez, M. P., 2016).

La diseminación del jacinto de agua *(E. crassipes)* ocurre mayormente por el rompimiento de las rosetas conectadas a la colonia principal. En adición, la base del tallo puede desarrollar nuevas plantas luego de daño por congelación o aplicaciones de herbicidas. Aunque la producción de plántulas por medio de semilla no es común, si podría facilitar nuevas infestaciones. El tráfico de botes, corrientes de viento, olas, y flujo de agua son algunos factores que facilitan la diseminación del jacinto de agua *(E. crassipes)* en cuerpos de agua conectados, cuando los cuerpos de agua no están conectados geográficamente, el jacinto de agua *(E. crassipes)* puede colonizar por medio de transporte de botes e inundaciones. El transporte intencional facilitado por el hombre es común debido a que el jacinto de agua *(E. crassipes)* es bien cotizado y utilizado como planta ornamental.

Las semillas del jacinto de agua *(E. crassipes)* son diminutas y permanecen latentes hasta que las condiciones sean favorables para la germinación, una vez que las semillas han germinado y las condiciones son favorables para crecimiento, el jacinto de agua *(E. crassipes)* produce rápidamente nuevas plantas hijas, con estolones horizontales, las plantas hijas pueden se pueden reproducir en 5 días, y las poblaciones pueden duplicar su tamaño en tan solo 6 a 18 días. El rápido crecimiento del jacinto de agua *(E. crassipes)* se debe principalmente a la reproducción vegetativa (Gettys, L. A., Haller, W. T. & Petty, D. G., 2014).

6. Riesgo de dispersión

Probabilidad que tiene la especie de expandir su rango geográfico cuando se establece en una región en la que no es nativa. Este indicador toma en cuenta la disponibilidad de medidas para atenuar los daños potenciales.

A. Muy Alto: Evidencia de que la especie es capaz de establecer nuevas poblaciones autosuficientes en poco tiempo y lejos de la población original o es capaz de extenderse rápidamente en grandes superficies, lo que le permite colonizar nuevas áreas relativamente rápido, por medios naturales o artificiales. No se cuenta con medidas para su mitigación.

El jacinto de agua *(E. crassipes)* es considerado como una de las principales amenazas del embalse 15 de septiembre, del sistema de humedales del embalse 5 de Noviembre (la laguna de San Antonio de La Cruz y planicie inundable asociada), sistema de humedales del embalse Cerrón Grande (lagunas de El Carao y Quitasol, lagunetas Berlín y San Francisco, pantanos Los Chilamates y San Francisco, y planicie inundable asociada), laguna Nahualapa y lagunetas El Zorral, ya que este forma inmensos bancos que se desplazan con el viento y entorpecen la navegación, afectado la dinámica del ecosistema con impactos tanto ecológicos (pérdida de luminosidad y eutrofización) como económicos (pesca y transporte acuático) (MARN, 2018).

7. **Impactos sanitarios**

Describir los impactos a la salud humana, animal y/o vegetal causados directamente por la especie. Por ejemplo, aquí se marca si la especie es venenosa, tóxica, causante de alergias, especie parasitoide o la especie en sí es el factor causal de una enfermedad (la especie evaluada es un virus, bacteria, etc).

A. Muy Alto: Existe evidencia de que la especie misma provoca, o puede provocar, afectaciones a la salud animal, humana, y/o plantas. Causa afectaciones severas a gran escala y afecta especies nativas o en alguna categoría de riesgo.

Una población densa de jacinto de agua *(E. crassipes)* afecta la fauna acuática directamente, a través de la reducción de los niveles de oxígeno del agua, causando una alta mortalidad a las poblaciones de peces, e indirectamente, a través de la reducción del fitoplancton, el cual requiere luz para su crecimiento y la sombra proyectada por el jacinto de agua *(E. crassipes)* inhibe su crecimiento, lo cual, a su vez, reduce la densidad poblacional de zooplancton y se afecta la cadena alimenticia (Cabrera Lizama, W. A. et al, 2015).

8. **Impactos sociales y económicos**

Describe los impactos a la economía y al tejido social. Considera el incremento de costos de actividades productivas, daños a la infraestructura, pérdidas económicas por daños o compensación de daños, pérdida de usos y costumbres, desintegración social, etc.

B. Alto: Existe evidencia de que la especie provoca o puede provocar daño considerable en alguna parte del proceso productivo; puede afectar tanto el área como el volumen de producción. Los costos de las medidas de control y contención son elevados.

Una de las amenazas principales para todos los humedales de El salvador es la especie exótica introducida jacinto de agua *(E. crassipes),* que afecta la dinámica del ecosistema con impacto tanto ecológico como económicos en la pesca y transporte acuático MARN (2018).

En las poblaciones de Chalatenango, ADEL-Chalatenango conjuntamente y con apoyo del Fondo de la Iniciativa de las Américas de El Salvador (FIAES), se ejecutan acciones para controlar y transformar el jacinto de agua *(E. crassipes)* y pato chancho para lo cual se realizaron análisis fisicoquímicos y bacteriológicos, con este proyecto se beneficiaron 300 pescadores asociadas a APESGRA (MARN/ISCOS (2017).

De acuerdo con CEL la expansión de jacinto de agua *(E. crassipes),* en 1994, en el embalse Cerrón Grande se estimaba en 6 km2 aproximadamente 5% del cuerpo de agua. Para 2017, representantes de cooperativas de pescadores y de CENDEPESCA señalan que la proliferación del "jacinto de agua *(E. crassipes)*" ha sido tal que podría haber alcanzado un 30%, es decir, 40.5 km2. Esta situación afecta, principalmente, a los pescadores debido a que obstaculiza la movilización de lanchas y canoas, impidiendo la realización de las actividades de pesca (MARN/ISCOS (2017).

El problema del jacinto de agua *(E. crassipes)* en el humedal Cerrón Grande, cuyas mayores floraciones se generan entre julio y enero, crea problemas en temas de recreación como deportes acuáticos o turismo y genera graves pérdidas a pecadores del sitio, ya que, en algunas épocas del año, bloquea el paso y no permite la circulación de las lanchas de pesca (Monzón de C., Rovira, y Osegueda, 2019).

La pérdida de agua causada por la evapotranspiración de la planta contribuye al azolvamiento en el embalse; la presa Cerrón Grande se obstaculiza y se sedimenta. En los meses de mayor floración, bloquean los cursos de agua dificultando las actividades de generación de energía eléctrica, las plantas son arrastradas hacia las entradas de las estaciones y obras cabeceras de irrigación, causando daños costosos o cierre por reparación de dichas instalaciones (Monzón de C., Rovira, y Osegueda, 2019).

En la Laguna de Olomega, el 06 de noviembre del 2014 se efectuó la primera limpieza con la maquina Jacinta que extrae la Eichhornia crassipes. Dicha máquina, que es como un “tractor marino”, es exclusivamente para recolectar de forma rápida el jacinto de agua *(E. crassipes)* que ha cubierto el espejo de agua de la laguna y que históricamente ha originado pérdidas económicas a los habitantes del sector. Ya que la planta reduce las posibilidades de navegación y pesca en el espejo de agua, por esta razón el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) con el apoyo de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), a través del proyecto Fondo del Agua han invertido 221,528 dólares para adquirir la barcaza para extraer el jacinto de agua *(E. crassipes)* (Cabrera, Cruz y Ramírez, 2015).

9. Impactos al ecosistema

Describe los impactos al ambiente; se refiere a cambios físicos y químicos en agua, suelo, aire y luz.

B. Alto: Existe evidencia de que la especie causa cambios sustanciales temporales y reversibles a largo plazo (> de 20 años) en grandes extensiones.

El jacinto de agua *(E. crassipes)* disminuye la superficie de espejo de agua, favorece la eutrofización de la laguna y de algunos meandros y supone una amenaza para la vegetación sumergida (MARN, 2004).

Se ha demostrado que en todo el mundo las pérdidas de agua por evapotranspiración a través de una cubierta de jacinto de agua *(E. crassipes)* siempre son mayores que a partir de una superficie de agua descubierta (tres a cuatro veces superior a la evaporación de aguas libres) (Cabrera Lizama, W. A. et al, 2015).

La descomposición de la planta jacinto de agua *(E. crassipes)* incrementa los niveles de sulfuro de azufre, aumenta la demanda química y biológica del oxígeno (Labrada et al.,1996)

La proliferación del jacinto de agua *(E. crassipes)* disminuye la penetración de luz solar en el agua, alterando las condiciones naturales de los fondos de los ecosistemas acuáticos (MARN, 2014).

10. Impactos a la biodiversidad

Describe los impactos a las comunidades y especies; por ejemplo, mediante herbivoría, competencia, depredación e hibridación.

A. Muy Alto: Existe evidencia de que la especie representa un riesgo de extinción para especies en alguna categoría de riesgo debido a alguna interacción biótica (por ejemplo, herbivoría, frugivoría, competencia, depredación, hibridación, parasitismo, etc.) o existe la posibilidad de que se introduzca en ecosistemas sensibles (islas, oasis, etc.) o genera cambios permanentes en la estructura de la comunidad (alteración de redes tróficas, cambios en la estructura de los ecosistemas, daños en cascada y afectación a las especies clave).

La reducción de los niveles de oxígeno debajo de un manto de jacinto de agua *(E. crassipes)* causa una alta mortalidad a las poblaciones de peces. El fitoplancton requiere luz para su crecimiento. Por lo tanto, la sombra proyectada por el jacinto de agua *(E. crassipes)* puede inhibir el crecimiento del fitoplancton, lo cual, a su vez, reduce la densidad poblacional de zooplancton y se afecta la cadena alimenticia (Cabrera Lizama, W. A. et al, 2015).

Como consecuencia de la reducción de fitoplancton, se frena la producción de oxígeno y por tanto su concentración en la columna de agua disminuye. Existe una relación negativa entre la abundancia de E. crassipes y las concentraciones de oxígeno disuelto (D.O.), es así que el contenido del oxígeno es menor debajo del manto de E. crassipes y puede descender a cero, causando efectos catastróficos sobre peces y otros animales (Labrada et al., 1996), e incluso, en ocasiones, disminuyendo la población animal, por lo que en general se reduce la biodiversidad (Labrada et al., 1996).

CAPITULO III
PROPUESTA PARA EL MANEJO Y CONTROL DE JACINTO DE AGUA *(E. crassipes)* EN EL LAGO SUCHITLAN

En base a la información y datos recolectados en los capítulos anteriores se presenta una propuesta, la cual, contiene directrices de control y gestión para el manejo integrado del jacinto de agua *(E. crassipes).* La mayoría de los esfuerzos de control de jacinto de agua *(E. crassipes)* deben estar encaminados a minimizar los costos económicos, que sea factible y efectivo sin comprometer al medio ambiente, ya que se busca mejorar las condiciones del lago, sin alterar o dañar su composición.

3.1 ACTIVIDADES DE CONTROL DE JACINTO DE AGUA (*E. CRASSIPES*) EN EL LAGO SUCHITLÁN

A continuación, en la tabla 3.1 se recopilan las distintas ventajas y desventajas para los tres métodos de control que bien pueden ser aplicados al jacinto de agua (*E. crassipes*), como se puede notar el control manual y mecánico es el que mejor posibilidades de aplicación tienen para la situación del lago Suchitlán, presenta menores desventajas y daña en menor medida el ecosistema del lago.

Tabla 3.1 Ventajas y Desventajas de los métodos de control para la maleza acuática.

CONTROL	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Manual	Herramientas sencillas y de bajo costo; hachas o machetes, barcazas. Promueve el trabajo en las zonas aledañas al lago. No daña ni altera el medio ambiente.	El efecto es a corto plazo Solo se puede aplicar a cauces de agua pequeños y poco profundos, como son las zanjas y canales de irrigación.
Mecánico	Las cosechadoras mecánicas pueden remover las plantas y prevenir el rebrote.	El efecto puede no ser a largo plazo, pero si mantiene un control eficiente si se hace con regularidad, lo que implica un coste económico más alto.

Continua…

Tabla 3.1 Ventajas y Desventajas de los métodos de control para la maleza acuática (continuación)

CONTROL	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Mecánico	Abre inmediatamente el espacio físico (hábitat) para peces, tráfico de botes, pesca y recreación, por lo que es recomendable para mantener actividades económicas y turísticas a flote. Se puede aplicar a toda la zona infectada y puede ser manejado todo el equipo por no más de dos operarios. En el mercado actual se encuentran nuevas tecnologías en este tipo de maquinaria a utilizar, de estructura simple, fáciles de instalar y mantener y que no contaminen el medio. el control mecánico es el método ambientalmente más "seguro" y útil para reducir pequeñas y medianas invasiones.	Alto costo de inversión en maquinaria pesada, cosechadoras y retroexcavadoras Dificultad para encontrar la maquinaria apropiada, hay máquinas en venta que no caminan ni diez pulgadas cuando la infestación del jacinto de agua *(E. crassipes)* es elevada. El jacinto de agua *(E. crassipes)* se compone de aproximadamente 90% de agua, lo que lo hace muy pesado para transportar. El uso de maquinaria pesada que ocupe motores de combustible fósil puede contribuir a la contaminación del medio ambiente debido a la generación de gases de combustión y riesgo potencial de derrames
Químico	No requiere de mucho tiempo para la aplicación, equipo No Requiere de mucho personal para la operación de la maquinaria y los herbicidas. Se considera menos intensivo en mano de obra y menos costosos que el control mecánico. Puede ser empleado en las áreas en las que no pueden usarse otros métodos de control. Medida a largo plazo.	Requiere autorización para su aplicación. se ha demostrado la contaminación ambiental con el uso de herbicidas, particularmente en los humedales El uso de surfactantes debe ser altamente investigado ya que puede contener agentes humectantes muy tóxicos. La efectividad del herbicida podrá verse reducida si se produjeran lluvias dentro de las 6 horas posteriores a la aplicación. El costo de los equipos rociadores que se utilicen tanto de avionetas como de aerobotes es muy alto.

Continua…

Tabla 3.1 Ventajas y Desventajas de los métodos de control para la maleza acuática (continuación)

CONTROL	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Químico		Creación de condiciones para brotes de algas Intoxicación potencial de aves, peces y fauna acuática Riesgo potencial de derrames de sustancias químicas Potencial afectación a la salud de la población, los principales efectos sobre la salud desde el cáncer hasta la inmunosupresión, el daño reproductivo a la neurotoxicidad. Alteración del ecosistema, como bajas tasas de crecimiento, problemas reproductivos, cambios en la apariencia, el comportamiento o la muerte de especies no objetivo.
Biológico	Tiene sostenibilidad en el tiempo, es económico y minimiza el uso de productos químicos. Puede proporcionar una solución rentable y ambientalmente segura para la disminución de la planta.	Debe someterse a rigurosos análisis de riesgos, ya que se trata de especies exóticas para las cuales no se conoce que efectos pueden provocar. Requiere gestiones que pueden retrasar el proceso de intervención, como las autorizaciones y estudios previos. Los métodos biológicos reducen la población, pero no la eliminan totalmente. Los insectos introducidos pueden competir con otras especies de insectos nativos, disminuyendo así la biodiversidad No hay experiencias ni conocimientos suficientes para aplicar control biológico en nuestro país.

Las actividades de control se refieren al control físico, químico o biológico que se le puede dar al jacinto de agua *(E. crassipes),* en esta propuesta solo se incluye el control físico sin integrar métodos químicos, puesto que después de realizar un diagnóstico del agua del lago de Suchitlán y analizar sus ventajas y desventajas, vemos que no es conveniente aportar más químicos; como son los herbicidas, que pueden presentar una desventaja más, para la situación del agua del lago, y que no es necesario si se piensa usar el jacinto de agua *(E. crassipes)* para una posible industrialización.

A través de Método de Evaluación Rápida de Invasividad MERI, se muestran los impactos producidos, que se consideran muy significativos en el plano socioeconómico al afectar a actividades como la pesca y otros usos recreativos del medio fluvial y, especialmente, las infraestructuras hidráulicas, por lo que se concluye que la especie jacinto de agua *(E. crassipes)* tiene un alto riesgo de invasividad y es necesario tomar medidas de control para reducir el jacinto de agua *(E. crassipes)* especialmente en las zonas donde más problemas este causando, siendo la zonas donde hay un mayor flujo turístico y cerca de la presa hidroeléctrica.

Las estrategias a corto plazo, se entienden aquellos esfuerzos encaminados a reducir la cantidad de plantas acuáticas en una velocidad mayor que la de su reproducción natural, es decir, mediante la remoción o destrucción de las plantas en el sitio donde causan problemas. Las estrategias a corto plazo están dirigidas al control de los efectos (crecimiento incontrolado de plantas acuáticas) del desequilibrio ecológico presenten en el lago Suchitlán. Las estrategias a largo plazo están dirigidas a controlar la causa del problema, es decir que en este caso se refieren al control de la entrada y movimiento de los nutrientes (fósforo y nitrógeno) en las cuencas afectadas por medio del control de las descargas puntuales y difusas. Proponiendo un método integral en donde se combinan estos métodos de control, se puede reducir significativamente el jacinto de agua *(E. crassipes)* en el lago Suchitlán.

3.1.1 Método Manual

Para este método lo más indispensable es la mano de obra abundante. La principal ventaja que se tiene al usar este método es que es de bajo costo si se promueve la participación ciudadana, financiado por una entidad interesada sea privada o gubernamental, es una excelente fuente de empleos para los pobladores de la zona. El trabajo manual requiere de destreza y, por lo tanto, una herramienta y equipo de seguridad adecuado a las condiciones de trabajo que permita incrementar la productividad de la labor, tal como guadañas, machetes, bieldos, rastrillos, botas, cuerdas de seguridad y overoles, canastas o botes. Algunas de las restricciones

para llevar a cabo la extracción de maleza con este método son la profundidad, pendiente del terreno, tipo de substrato, calidad del agua y presencia de mosquitos, porque se requerirá de otros insumos, por lo que se aplicará principalmente a cauces de agua pequeños y poco profundos, como son las zanjas y canales de irrigación.

Se debe realizar en época donde las temperaturas son más bajas, entre noviembre y enero ya que cuando las temperaturas bajan, el jacinto de agua (*E. crassipes*) deja de reproducirse. Sin embargo, la planta permanece agarrada a las márgenes, entre la vegetación de ribera, esperando que las condiciones ambientales vuelvan a ser favorables para reproducirse. En esta situación los trabajos resultan muy efectivos. Tras la parada vegetativa de la planta, la retirada del mayor número de ejemplares supone una menor tasa de reproducción en los meses siguientes, se deben retirar las plantas dispersas por el lago, en los lugares donde sea menos profundo o si es necesario el empleo de barcas en los tramos navegables y recurriendo a personal a pie en los tramos no accesibles a las embarcaciones.

El empleo de personal para labores de retirada manual, debe ser un apoyo a los medios mecánicos, así como para la vigilancia preventiva para localizar focos de jacinto de agua *(E crassipes)* posteriormente. Cuando se trata de invasiones poco importantes o de pequeña extensión, puede ser suficiente la retirada manual exhaustiva de todos los ejemplares presentes; para el caso del lago de Suchitlán la intervención de medios manuales es imprescindible como apoyo a la extracción de los medios mecánicos cuando, en las extracciones en zonas no accesibles para la maquinaria y en trabajos de vigilancia cuando la plaga está controlada.

Como se observa en la Tabla 3.2 la cantidad de personas que se necesitarían dependerán del área donde se realizara la labor, se puede tener una referencia del trabajo realizado por INGESA en México de cuantas toneladas se pueden extraer de la planta en un día, utilizando 100 personas para el trabajo.

Tabla 3.2 Información General para el Control Manual de jacinto de agua *(E. crassipes).*

Capacidad de extracción de lirio	2.5 ton/per/día
Densidad del lirio	24 kg/m2
Densidad volumétrica del lirio	192 kg/m2
Masa de lirio extraída	240 ton/ha/ día
Mano de obra requerida	100 per/ha/día

Fuente: INGESA, (2005).

3.1.2 Método Mecánico

Existen dos métodos mecánicos para reducir la infestación de plantas acuáticas como el jacinto de agua *(E. crassipes);* la trituración y por cosechado.

Para el cosechado del jacinto de agua *(E. crassipes)* en el mercado existen diferentes maquinas cosechadoras de malezas acuáticas, como el equipo JLGCC-200 de la marca KEDA, un equipo con capacidad de carga de 4 Toneladas, cosecha de ancho de 1.2 metros y cosecha de profundidad de 1,5 metros y es impulsado por motor hidráulico, este buque está diseñado para una fácil operación. Todas la recogida, almacenamiento y transporte dispositivo pueden ser completadas por un hombre a través de la oficina de control de funcionamiento (JULONG, 2019). La cosechadora modelo KHAWH-15 de la marca KEHAN, es un equipo estándar con método de ruedas de paleta de recolección y un cortador ensamblados en la cabina de recolección delantera, en el extremo de la cabina, cuenta con una trituradora principal accionada por motor hidráulico. La capacidad máxima de almacenamiento de jacinto de agua *(E. crassipes)* es de 15 Ton, cuando está completamente cargada, cosecha de ancho 2.2 m, profundidad de cosecha de 1.2 m, incluye la función de reducción de volumen, almacenamiento temporal y descarga automática, las plantas recolectadas se pueden transportar a una barcaza con una altura de 3.5 o directamente a la orilla del río (KEHAN,2020).

Es necesario conocer que en el mercado actual se encuentran nuevas tecnologías en este tipo de maquinaria, de estructura simple, fáciles de instalar y mantener, corriendo en una alta automatización e intelectual y lo más importante sin contaminación.

La decisión para elegir el mejor equipo depende del presupuesto destinado, ayuda gubernamental o privada, el cual oscila desde los 20,000 a 250,000 mil dólares, tomando en cuenta envíos desde el país de origen de la maquinaria principal, gastos de otros equipos a utilizar como retroexcavadoras, camiones de carga para los desechos, barcazas para trabajo manual y equipo de seguridad para los operarios.

El objetivo conjunto de estos es la extracción de la planta con la cosechadora y su transporte a zonas de vertido habilitadas para acumular grandes cantidades de masas vegetales, fuera del contacto con el agua para su eliminación por desecación. Los medios mecánicos terrestres formados por retroexcavadoras y camiones retiran el material vegetal hasta zonas de acopio cercanas.

Las precauciones para tener en cuenta con la utilización de maquinaria pesada se deben especificar antes de empezar y se debe contar con una formación técnica adecuada previa.

Se debe tener en cuenta que este es una inversión en pro del medio ambiente y del país en general, al cuidar de nuestros recursos naturales, a fin de conservar las especies nativas y controlar las invasoras para un mejor equilibrio en el ecosistema.

3.2 ACTIVIDADES DE MANEJO DEL JACINTO DE AGUA *(E. CRASSIPES)* DEL LAGO SUCHITLÁN, EL SALVADOR

La abundancia, permanencia y difícil erradicación del jacinto de agua (*E. crassipes)* permite buscar diferentes alternativas de uso, en cuales, a partir de su explotación disminuye el porcentaje de biomasa existente en el lago.

3.2.1 Ventajas y desventajas de los diferentes aprovechamientos de jacinto de agua (E. crassipes)

A continuación, se presenta la tabla 3.3 que muestra un resumen de las diferentes ventajas y desventajas que implican las diferentes alternativas para el aprovechamiento del jacinto de agua *(E. crassipes):*

Tabla 3.3 Ventajas y Desventajas de las alternativas de aprovechamiento del jacinto de agua (*E. crassipes).*

APROVECHAMIENTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Abono orgánico, Compost o Bio abono	Disminuye la dependencia de productos químicos artificiales. Herramientas sencillas y de bajo costo; hachas o machetes, picadoras, pala. Se puede utilizar el agua lluvia para el compostaje.	El contenido de metales pesados debe ser controlado y eliminado de cada muestra. Se requiere de procesos extras para evitar un nivel alto de metales pesados. La calidad del abono se ve afectada por el contenido de nutrientes que varía debido a las descargas que llegan al lago.

Continua…

Tabla 3.3 Ventajas y Desventajas de las alternativas de aprovechamiento del jacinto de agua (*E. crassipes)*
(continuación)

APROVECHAMIENTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Biocarbón / Carbón activado	Puede utilizarse en lugar de floculantes convencionales como el alumbre y el cloruro férrico.	No hay suficiente investigación en el área
Biocarbón / Carbón activado	Puede utilizarse en industrias de teñido cuyos efluentes descargados están muy coloreados, para adsorción de tintes.	Se debe tener un control estandarizado para obtener un buen rendimiento del producto. Alto costo de producción a pequeña escala, limitando su aplicación comercial.
Biocombustible Solido	Es una alternativa de generación de energía amigable con el medio ambiente que disminuye el uso de combustibles fósiles. No es una planta de cultivo, es biodegradable y tiene alto contenido de celulosa. Para el proceso de preparación de las briquetas no fue necesario el uso de calentamiento o aglutinantes.	Requiere un costo considerable de inversión inicial para producciones grandes. Tiene una baja densidad y alto contenido de agua. Por el porcentaje de humedad tan alto que posee el jacinto, es muy importante controlar el parámetro antes y después del proceso de secado Debido a la presencia de mercurio encontrada en las plantas acuáticas es necesario el diseño de un sistema de combustión que permita condensar o recuperar el metal.
Bioetanol	Sustituto ecológico en los procesos convencionales de extracción de celulosa.	Los materiales para la obtención de bioetanol tienen un costo considerable.

Continua…

Tabla 3.3 Ventajas y Desventajas de las alternativas de aprovechamiento del jacinto de agua (*E. crassipes)*
(continuación)

APROVECHAMIENTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Bioetanol	Alto contenido de celulosa y bajos contenidos de lignina lo que facilita su despolimerización y separación a partir de procesos fisicoquímicos menos contaminantes. Comercialmente no es competitiva alimenticia.	El procedimiento puede llegar a ser engorroso y no obtener una buena calidad si no se siguen controles bien estandarizados. El contenido de celulosa presente en la planta cambia en el transcurso del tiempo. La planta tiene un mayor contenido de metales si se desarrolla en zonas de alta contaminación, por lo que requiere de eliminación de estos.
Biogás	Favorece la protección del suelo, agua, aire y vegetación, obteniendo menor grado de deforestación. Se convierte en una energía alternativa, como biomasa para producir un combustible de segunda generación. Favorece la reducción del consumo de energías no renovables.	La puesta en marcha de este sistema es lenta, debido a la baja velocidad de crecimiento de los microorganismos en la materia descompuesta. Se requiere mantener constante las condiciones de temperatura y el pH para asegurar una generación optima de biogás Los biodigestores para la producción de biogás se deben construir en el lugar en donde se van a utilizar permanentemente, no se deben mover por la presencia de gases.

Continua…

Tabla 3.3 Ventajas y Desventajas de las alternativas de aprovechamiento del jacinto de agua (*E. crassipes)*
(continuación)

APROVECHAMIENTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Biogás		Se recomienda la fabricación de biodigestores para zonas rurales.
Biohidrógeno	Se convierte en una energía alternativa, como biomasa para producir un combustible de segunda generación.	Se debe mantener una temperatura constante, debido a la sensibilidad de los anaerobios a la temperatura de operación. Costos de distribución y transporte son muy altos. Alto costo de producción a pequeña escala, limitando su aplicación comercial.
Bioplástico	Reduce la huella de carbono. Reduce los residuos no biodegradables, que contaminan el medio ambiente. Son sintetizados por muchas especies de distintos géneros bacterianos, por lo que contaminan menos que los plásticos convencionales. El bioplástico es degrado naturalmente en el suelo hummos.	El tiempo de degradación del bioplástico es variable. El peso del jacinto de agua *(E. crassipes) y* la elasticidad de bioplástico son inversamente proporcionales. A mayor peso menor elasticidad. Requiere un costo considerable de inversión inicial para producciones grandes.
Carboximetilcelulosa	Puede utilizarse como materia prima para la producción de Carboximetilcelulosa por ser rica en material lignocelulósico.	Deben tenerse en cuenta las concentraciones del tratamiento alcalino a la cual se produce el mejor arrastre de la celulosa.

Continua…

Tabla 3.3 Ventajas y Desventajas de las alternativas de aprovechamiento del jacinto de agua (*E. crassipes)*
(continuación)

APROVECHAMIENTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Carboximetilcelulosa	**L**a producción masiva de esta planta en los cuerpos de agua, conlleva a considerarla como una fuente potencial de celulosa y materia prima para la obtención de carboximetilcelulosa.	El contenido de celulosa presente en la planta cambia en el transcurso del tiempo. Se recomienda únicamente aprovechar los tallos y las hojas de la planta.
Fitorremediación	Presenta una alternativa viable para limpiar o restaurar ambientes contaminados a través del uso de la planta acuática Reduce la concentración o peligrosidad de contaminantes orgánicos e inorgánico a partir de procesos bioquímicos realizados por la planta y microrganismos asociados a su sistema de raíces Presenta una alternativa verde para el tratamiento de agua residuales, ya que evita el uso de energía e insumos químicos.	Después de cinco días el jacinto de agua *(E. crassipes)* presenta necrosis, la cual empieza en las hojas y se esparce hasta llegar a los peciolos La eficiencia y tiempo remoción de contaminantes durante el proceso depende del tipo y número de plantas que se empleen, la tolerancia de estas a altas concentraciones de contaminantes orgánicos e inorgánicos, condiciones ambientales y los tipos y cantidades de sustancias químicas presentes. Residuos con alto contenido de contaminantes orgánicos e inorgánicos.
Forraje animal	Se pueden utilizar las plantas enteras, picadas o molidas, o como materia fresca, seca o ensilada en las dietas de animales rumiantes o monogástricos.	No se logran cubrir los requerimientos de proteína cruda en algunos animales de interés zootécnico.

Continua…

Tabla 3.3 Ventajas y Desventajas de las alternativas de aprovechamiento del jacinto de agua (*E. crassipes)*
(continuación)

APROVECHAMIENTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Forraje animal	El contenido de proteína bruta, fibra bruta, carbohidratos y minerales de la planta acuática, permite utilizar como sustituto de materias primas de alto costo económico como el maíz y sorgo. La implementación de estos tratamientos alimenticios es viable económicamente.	Por la capacidad del jacinto de agua (E. crassipes) de absorber y bioacumular metales pesados de alta toxicidad se deben realizan análisis de metales en la planta y el agua, ya que esto puede generar acumulación de metales pesados en la carne de los animales alimentados y consecuencias sobre la salud pública.
Mueblería, cordelería, textil	Emplear mano de obra local y genera oportunidades de empleo para los pobladores de la comunidad. Promueve el desarrollo económico local a través de procesos que generen capacidades comunitarias, emprendedoras y empresariales. Herramientas de trabajo sencillas y de bajo costo. Proceso de elaboración de bajo costo y sencillo.	No se utilizan todas las partes de la planta acuática No se utiliza un gran volumen de biomasa de jacinto de agua.
Papel	Sustituto ecológico de la madera como principal fuente de celulosa.	Requiere un costo considerable de inversión inicial para producciones grandes. Se debe tener un control estricto del proceso para obtener resultados buenos y estandarizados.

Continua…

Tabla 3.3 Ventajas y Desventajas de las alternativas de aprovechamiento del jacinto de agua (*E. crassipes)*
(continuación)

APROVECHAMIENTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Papel		El contenido de metales pesados debe ser controlado y eliminado de cada muestra.
Tableros aglomerados	Procesos de fabricación de bajo costo, baja energía, sin aglutinantes y sin pegamentos artificiales, con una conductividad térmica razonablemente buena. El uso de aglutinantes como el cemento Portland presenta posibilidades para el atrapado de compuestos orgánicos e inorgánicos	Requiere un costo considerable de inversión inicial para producciones grandes

3.2.2 Alternativas para el manejo del jacinto de agua *(E. crassipes)* del lago Suchitlan

Ante el estudio de los resultados de los análisis de laboratorio de muestras de agua y jacinto de agua *(E. crassipes)* del lago Suchitlan y de los aspectos físicos, biológicos y socioeconómicos del área de influencia, obtenidos en las diferentes investigaciones consultadas, se propone hacer uso del recurso para la elaboración de artesanías, tableros aglomerados y generación de energía a partir de la combustión de este.

3.2.2.1 Artesanías

A continuación, se presenta la elaboración de artesanías a partir de jacinto de agua *(E. crassipes)* como una alternativa de uso, en cual, a partir de su explotación disminuye el porcentaje de biomasa existente.

Figura 3.1 Artesanías elaboradas a partir de jacinto de agua (E. crassipes) en Olomega.

Fuente: Cabrera Lizama et al., (2015).

Se pueden elaborar distintas artesanías como bolsos, portalápices, entre otros (Figura 3.1 y 3.2). En el caso de artesanías como aretes, collares, cinchos y diademas es necesario la obtención del hilo a partir de tallos secos, donde, después de haber sacada el hilo se procede a darle diferentes formas para tejer o hacer croché, después de darle forma, se pintan y se dejan secar para mayor duración del producto.

Figura 3.2 Artesanías elaboradas a partir de jacinto de agua *(E. crassipes)* en Olomega.

Fuente: Cabrera Lizama et al., (2015).

Por otro lado, se pueden elaborar artesanías como cestas, libretas, portavasos, abanicos, entre otros, sin sacar los hilos del tallo y utilizando directamente el tallo seco, el cual se le va dando forma de acuerdo con el producto deseado.

En ocasiones, se elimina cualquier resto de contaminante con un baño de agua clorada. las hojas y las raíces son procesadas con químicos deshidratantes y posteriormente, son expuestas al sol, lo que permite obtener una fibra capaz de ser trenzada, dado que el material es maleable o recortada para crear adornos.

El aprovechamiento de jacinto de agua *(E. crassipes)* para la elaboración de diferentes artesanías permite:

a) A jóvenes emprendedores oportunidades para sobresalir y encausar propuestas que generen ofertas innovadoras y sustentables, que respondan a las necesidades del mercado.

b) Sacar provecho a la invasión de jacinto de agua *(E. crassipes)*, transformando de ella nuevos productos hechos a mano, con la finalidad de comercializarlos en el mercado nacional e internacional.

c) Promover el desarrollo económico local a través de procesos que generen capacidades comunitarias, emprendedoras y empresariales.

d) Emplear mano de obra local y generar oportunidades de empleo para los pobladores de la comunidad.

e) Es una alternativa verde de aprovechamiento, la cual mantiene el equilibrio entre consumo y medio ambiente, ya que no genera residuos contaminantes durante el proceso de fabricación.

Sin embargo, resulta difícil asignar un valor económico a la fabricación de artesanías a partir de los tallos de jacinto de agua *(E. crassipes)*, ya que los volúmenes varían en las diferentes épocas del año. En la Figura 3.3 se observa el proceso para elaborar artesanías a partir de jacinto de agua *E. crassipes*.

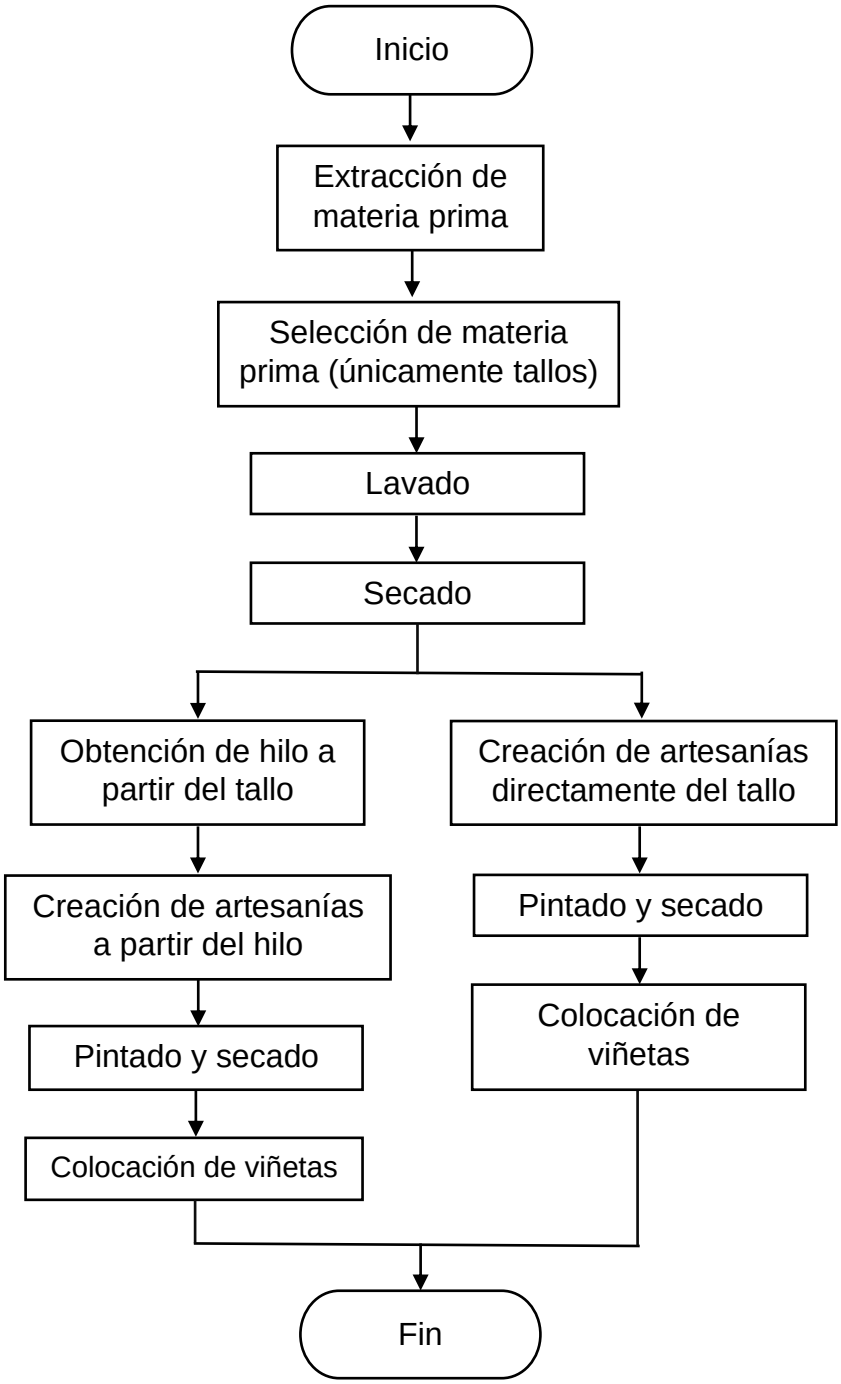

Figura 3.3 Diagrama del proceso de elaboración de artesanías a partir del jacinto de agua (E. crassipes).

Fuente: Cabrera Lizama et al., (2015).

3.2.2.2 Tableros aglomerados

El uso intensivo de madera puede causar problemas ambientales como deforestación (aumento de la tala, tanto de las plantaciones industriales como de los bosques en general), inundaciones y también calentamiento global. Para superar estos problemas, los investigadores se han centrado en encontrar otros recursos renovables que reemplacen el uso de la madera para algunos usos. Hay algunos recursos no madereros que pueden utilizarse como material de pulpa y otros productos a base de madera. El uso intensivo de madera como principal fuente de celulosa puede reducirse sustituyéndolo por otro material fuente de celulosa como la biomasa (Rahmawati W., et al, 2018).

El bajo contenido de lignina de jacinto de agua *(E. crassipes)* permite la fabricación de tableros de bajo costo, baja energía implicada en su fabricación, sin aglutinantes y sin pegamentos artificiales, con una conductividad térmica razonablemente buena, lo cual los hace más sostenibles, debido a la reducción de la huella ecológica (Salas Ruiz, A. et al, 2019). La figura 3.4 muestra un bio-tablero elaborado a partir de jacinto de agua (E. crassipes).

Por otra parte, el uso de aglutinantes como el cemento Portland presenta posibilidades para el atrapado de compuestos orgánicos e inorgánicos, ya que existen reportes con aplicaciones exitosas para el tratamiento de residuos tóxicos con metales, constituyendo una forma viable para retener los metales bioacumulados en el jacinto de agua *(E. crassipes)* (MARN/FIAES/ADEL Chalatenango, 2014).

Figura 3.4 El bio-tablero de jacinto de agua (E. crassipes) producido con éxito.
Fuente: Rahmawati W., et al (2018).

El aprovechamiento del jacinto de agua *(E. crassipes)* para la elaboración de tableros aglomerados contribuye al manejo de la planta acuática, ayudando a disminuir la biomasa de esta dentro del lago y a su generando beneficios para las comunidades locales productoras. En la figura 3.5 se presenta un diagrama del proceso de elaboración de tableros aglomerados a partir de jacinto de agua *(E. crassipes)*:

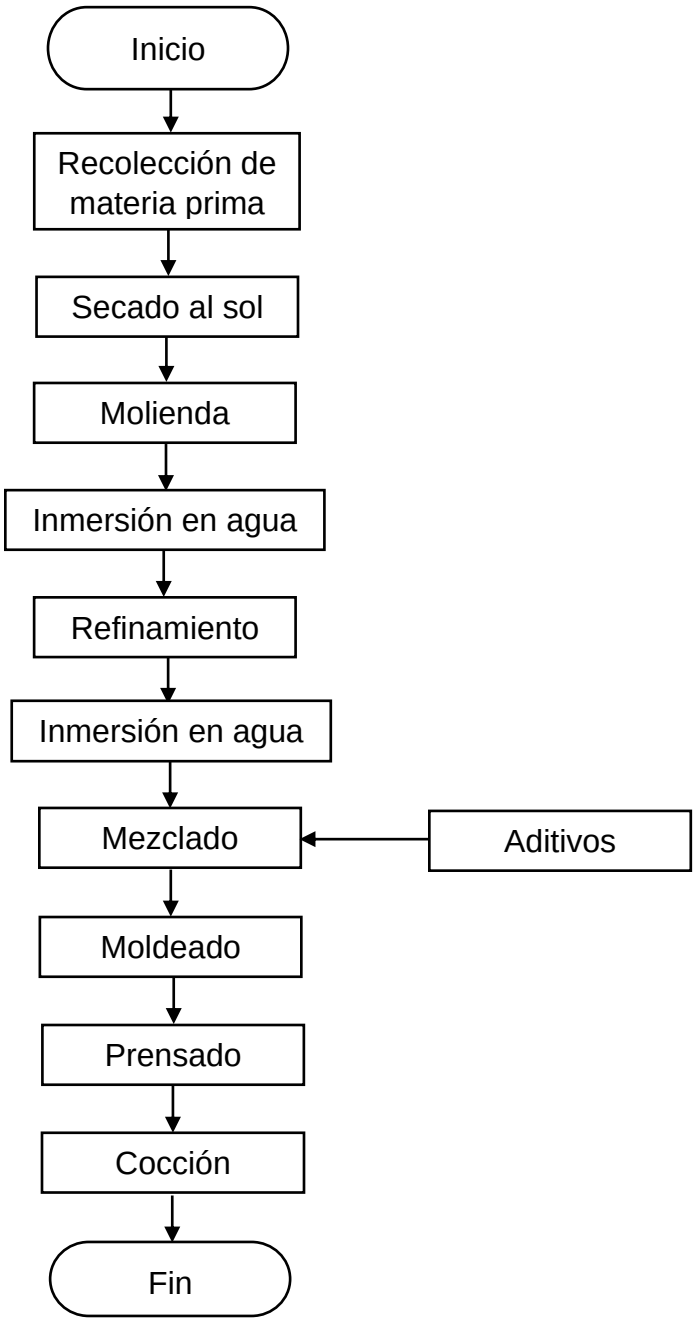

Figura 3.5 Diagrama del proceso de elaboración de tableros aglomerados a partir de jacinto de agua *(E. crassipes).*

Fuente: Adaptado Rahmawati W., et al (2018).

3.2.2.3 Generación de energía a partir de biomasa de jacinto de agua *(E. crassipes)*

Los residuos de carácter vegetal de jacinto de agua *(E. crassipes)* se manifiestan como una alternativa potencialmente importante en lo que concierne a generación de energía amigable con el medio ambiente que disminuye el uso de combustibles fósiles, el aprovechamiento energético del jacinto de agua *(E. crassipes)* se puede realizar a través de la combustión directa en calderas o en forma de pellets o briquetas.

El jacinto de agua *(E. crassipes)* satisface todos los criterios para la producción de bioenergía siendo permanente y abundante ya que tiene una gran cantidad de plantas disponibles, por otro lado, no es de cultivo, es biodegradable y tiene alto contenido de celulosa, como se observa en la Tabla 3.4 el poder calorífico en diferentes partes de la planta también es bastante bueno para su aprovechamiento energético (Rodríguez Meléndez, A. G. et al, 2017).

Tabla 3.4 Valores del poder calorífico para cada una de las partes de la planta.

Composición (seca en % masa)	Hojas	Tallos	Raíces
Celulosa	28.91	28.23	17.07
Hemicelulosa	30.8	26.35	15.25
Lignina	4.59	17.44	14.63
Proteína	20.97	6.8	2.6
Lípidos	1.79	0.91	0.47
Ceniza	12.95	20.26	49.97
Valor calorífico (KJ/g)	14.93	13.52	8.46

Fuente: Rodríguez Meléndez, A. G. et al, (2017).

El aprovechamiento energético de la biomasa de jacinto de agua *(E. crassipes)* presenta como limitaciones baja densidad y alto contenido de agua, aproximadamente el 90%, lo cual genera problemas de almacenamiento, transporte, entre otros, sin embargo, esto se puede evitar, al realizar procesos de densificación, las briquetas y pellets al ser más densos, desprenden más energía que la biomasa normal, obteniéndose una mayor eficiencia energética (Rodríguez Meléndez, A. G. et al, 2017) y procesos de secado al sol, de preferencia, cerca del lugar de extracción de la biomasa, para este proceso se debe considerar que la altura de la pila de secado influye en el tiempo de secado (Mazón, F. Y., et al, 2019).

A continuación, en la figura 3.6 se presenta un diagrama del proceso de aprovechamiento energético del jacinto de agua *(E. crassipes):*

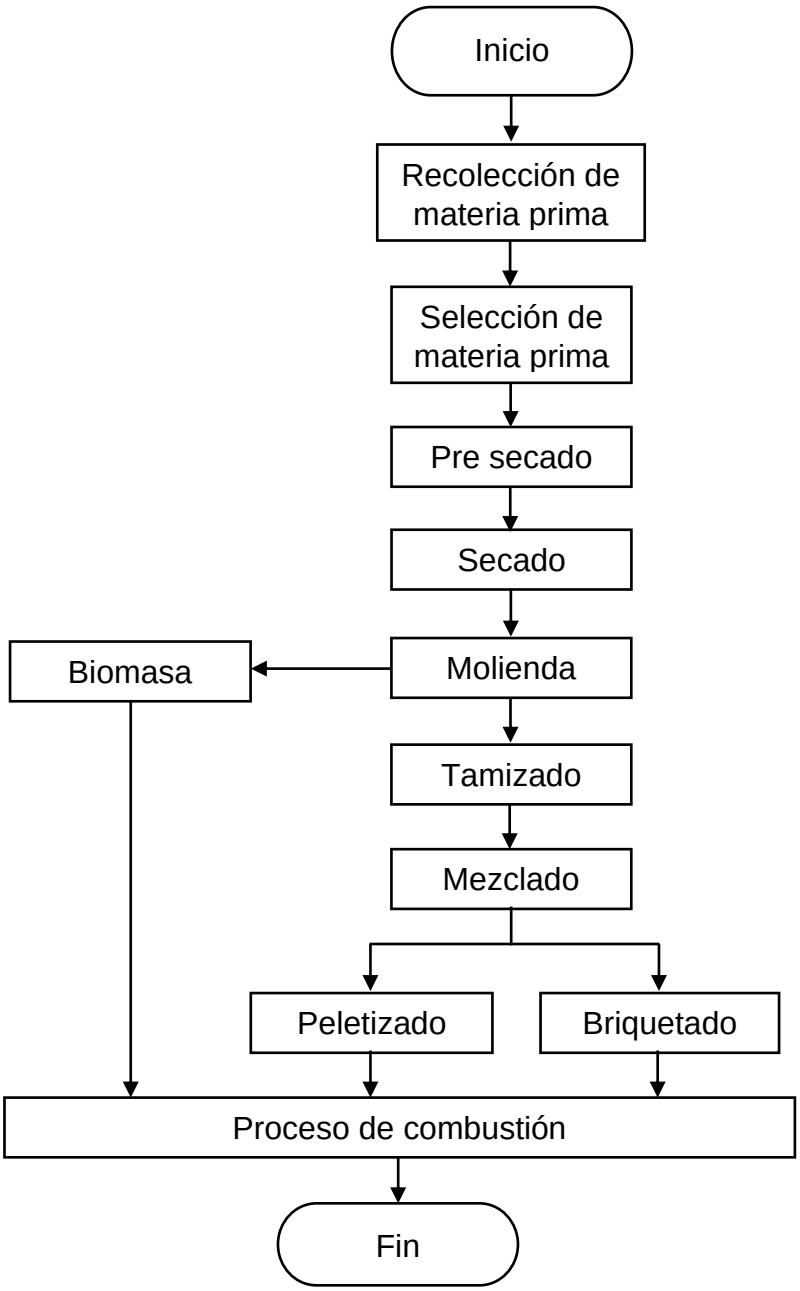

Figura 3.6 Diagrama del proceso de aprovechamiento energético del jacinto de agua (E. crassipes).

Fuente: Adaptado de Solis Cordero, E. M. y Vásquez Inca, G. A. (2019)

El aprovechamiento de la biomasa de jacinto de agua *(E. crassipes)* para la generación de energía permite:

a) La reducción de la dependencia de fuentes de energía de origen fósil y la reducción de gases de efecto invernadero, incrementando la seguridad en el

abastecimiento energético en la búsqueda de fuentes alternativas para la sustitución de los hidrocarburos (Da C. B. D'Agua et al, 2015).

b) Disminuir la cobertura del jacinto de agua *(E. crassipes)* dentro del lago de Suchitlan, generando una fuente de energía alternativa y sostenible que contribuye al buen manejo de la planta acuática.

Se debe tener en cuenta que el proceso de refinamiento es uno de los procesos de mayor importancia, ya que Rahmawati W., et al (2018) determinaron que afecta las características de las fibras, la estructura de la pared, la delaminación, la fibrilación, el rizado de la fibra, y la redistribución de hemicelulosas desde el interior de la fibra hasta el exterior.

En cuanto al proceso de combustión es importante tomar en cuenta que las emisiones de plomo y compuestos de plomo procedentes de fuentes de combustión pueden reducirse mediante el empleo de sistemas de control de partículas, bajas temperaturas de combustión, y controlando el contenido de cloro en la alimentación. Los medios más eficaces de control de emisiones de plomo consisten en reducir al mínimo la vaporización de plomo en la zona de combustión y maximizar la retención de partículas de pequeño tamaño (Contreras Rodríguez, L., 2011).

CONCLUSIONES

I. La determinación de la cobertura del jacinto de agua *(E. crassipes)* mediante el método de teledetección en el software libre QGIS permite realizar un seguimiento de la proliferación de la planta acuática en el lago a lo largo del tiempo. Los resultados de la estimación de la cobertura de jacinto de agua *(E. crassipes)* en el lago Suchitlan para febrero de los años 2014, 2016, 2018 y 2020 mostraron un aumento en el área cubierta por la maleza acuática con el paso del tiempo.

II. Las aguas dulces en zonas climáticas tropicales enriquecidas con nutrientes, principalmente con grandes cantidades de fósforo y nitrógeno, un rango de pH entre 5.5 y 9.0 y un suministro adecuado de oxígeno disuelto favorecen la proliferación del jacinto de agua *(E. crassipes)*.

III. El jacinto de agua *(E. crassipes)* presentó un riesgo de invasividad de 0.7875 dando una categoría de riesgo muy alta en El Salvador según el Método de Evaluación Rápida de Invasividad (MERI), como resultado de su alta densidad de crecimiento y reproducción, su capacidad reproductiva alta y la intensidad de la propagación, además considerando los impactos producidos en el plano socioeconómico al afectar a actividades como la pesca y otros usos recreativos del medio fluvial.

IV. El método de control para el lago de Suchitlán que menos daño ambiental hace es el control mecánico o manual, que se realiza mediante la remoción o destrucción de las plantas en el sitio, este método supone una inversión significativa en herramientas de trabajo, equipo y maquinaria, pero cuyos frutos se verá reflejada con el paso del tiempo en una mejora ambiental del manto acuífero del lago.

V. Existen diferentes alternativas para la posible industrialización del jacinto de agua *(E. crassipes)* sin embargo, estas se ven limitadas por la capacidad de bioacumular metales pesados de la planta, los materiales y equipos necesarios y los costos de operación. Siendo los más factibles, la elaboración de artesanías, elaboración de tableros aglomerados y la generación de energía a partir de la biomasa de la planta acuática.

VI. Los impactos más significativos generados por el jacinto de agua *(E. crassipes)* en el lago Suchitlán son la disminución del oxígeno disuelto, la disminución de la capacidad de penetración de la luz, afectación de las posibilidades de navegación, desplazamiento de embarcaciones, turismo y pesca, como

encontró en la investigación bibliográfica del estado químico del lago de Suchitlán, el nivel del oxígeno disuelto es afectado directamente por la presencia de la planta, para el año 2006 se registró un promedio de O.D. de 9.83 mg/ml valor que disminuyó para el año de 2007 presentando un promedio de O.D. de 8.10 mg/ml y para el año 2008 con un promedio de 5.83 mg/ml.

RECOMENDACIONES

I. Fortalecer una cultura de sensibilización y educación ambiental pública, a través de campañas sobre especies exóticas invasoras, talleres de divulgación en centros escolares aledaños a la zona y jornadas informativas dirigidas al sector de la pesca y turismo, con el objetivo de promover y/o conseguir nuevas ideas para un manejo y control de la especie jacinto de agua *(E. crassipes).*

II. Para el control de jacinto de agua *(E. crassipes)* mediante maquinaria, se debe realizar un estudio previo detallado de las máquinas de venta en el mercado, analizando factores como precio, los requisitos de uso, la especialización de la máquina, el lugar donde se manejará la máquina, el coste de mantenimiento y referencias de personas y sitios que la estén usando y donde el trabajo haya sido exitoso o no, analizando él porque de ello.

III. En este trabajo no se recomienda el uso de métodos de control de jacinto de agua *(E. crassipes)* por medios químicos ya que cualquier modificación o alteración del ecosistema que no sea debidamente estudiada podría ocasionar serios desequilibrios ambientales.

IV. Monitorear periódicamente los niveles de los parámetros físicos, químicos y biológicos del agua del lago Suchitlán, para llevar un mejor control de los cambios del medio acuático con respecto a la proliferación del jacinto de agua *(E. crassipes).*

V. Realizar procesos experimentales sobre los diferentes aprovechamientos del jacinto de agua *(E. crassipes),* con la planta acuática proveniente del lago Suchitlán, ya que existen pocos registros de experimentaciones sobre el uso de esta en el país.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Albano Pérez, A. (2012). *Reproducción sexual del Jacinto de Agua (Eichhornia crassipes): germinación, anatomía y banco de semillas.* (Memoria presentada para optar al grado de Doctora). Universidad de Extremadura. España. Recuperado de https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=180803

2. Alegría, P. M., Alvarado, G. A., Barahona, A. A., Prieto, R. M. y Ramos, E. H. (2019). *Estudio de la Incorporación de Diferentes Geometrías en un Fotobiorreactor a Escala de Planta Piloto y su Impacto en el Cultivo de la Microcystis Aeruginosa.* Departamento de Procesos y Ciencias Ambientales, UCA. San Salvador, El Salvador. Recuperado de Repositorio Institucional UCA. http://repositorio.uca.edu.sv/jspui/handle/11674/3826

3. Barrientos, C. I. (2009). *Aprovechamiento del jacinto acuático de la planta de tratamiento "ing. Arturo pazos sosa" para la producción de abono orgánico.* (Estudio especial para optar al grado de Maestra en Ingeniería Sanitaria). Universidad de San Carlos. Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0392_MT.pdf

4. Bayne, D., y Butter, E. C. (1977). *Método para el control químico del jacinto de agua Eichhornia crassipes (MART.) en El Salvador.* Simposio sobre Acuicultura en América Latina. Montevideo, Uruguay. Recuperado de http://www.fao.org/3/ac866s/AC866S07.htm

5. Beyondpesticidesorg (2004). *2,4-D Chemical watch factsheets*. Beyond Pesticides Org. Washington D. C., Estados Unidos. Recuperado de https://web.archive.org/web/20090327113406/http://www.beyondpesticides.org/pesticides/factsheets/2,4-D.pdf

6. Bhattacharya, A. & Kumar, P. (2010). *Water hyacinth as a potential biofuel crop*. Electronic Journal of Enviromental, Agricultural and Food Chemistry, ISSN:1579-4377 9(1), 112-122. Georgia, Estados Unidos. Recuperado de https://pdfs.semanticscholar.org/

7. Born-Schmidt, G., de Alba, F., Parpal, J. y Koleff, P. (2017). *Principales retos que enfrenta México ante las especies exóticas invasoras.* Centro de Estudios Sociales y Opinión Publica, CESOP. Distrito Federal, México. Recuperado de http://www5.diputados.gob.mx/index.php/esl/content/download/109564/548413/file/CESOP-IL-72-14-EspeciesInvasoras-300318.pdf

8. Botero, R. y Preston, T. R. (1987). *Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. "Manual para su instalación, operación y utilización*". Edición 1987. Cali, Colombia. Recuperado de http://www.produccion-animal.com.ar/Biodigestores/04-biodigestores.pdf

9. Cabrera Lizama, W., Cruz Rubio, N. y Ramírez Gómez, M. (2015). *Estudio de factibilidad y viabilidad para la industrialización de la planta jacinto de agua en el marco del movimiento "un pueblo, un producto". Cantón Olomega, municipio de El Carmen, departamento de La Unión, año 2015*. (Trabajo de grado para optar al grado de Licenciado en Administración de Empresas). Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador. Recuperado del Repositorio Institucional de la UES. http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/17594/

10. Carita, G. (2018). *Tutorial de Estimación de los Índices de Vegetación y Biomasa con QGIS 3*. Gidahatari. Lima, Perú. Recuperado de https://gidahatari.com/ih-es/tutorial-de-estimacion-de-los-indices-de-vegetacion-y-biomasa-con-qgis-3

11. Carreño Sayago, U. F. & Rodríguez, C. (2018). *Design and construction of a biohydrogen and bioethanol production system from the biomass of the Eichhornia crassipes*. Preprints.org; 2018. doi: 10.20944/preprints201805.0393.

12. Castillo Araya, J. G. (1990). *El uso del lirio acuático (Eichhornia crassipes) en el tratamiento de aguas residuales.* Revista Tecnología En Marcha, 10(3), 23-28. Costa Rica. Recuperado del Repositorio Nacional de Costa Rica. https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/2605

13. Castillo Pinzón, V. y Ramírez Munar, D. C. (2018). *Estudio de mercados del biohidrógeno generado a partir de la biomasa de la planta Eichhornia crassipes.* (Trabajo de grado para obtener el título profesional de ingeniería industrial) Fundación Universitaria los Libertadores los Libertadores. Bogotá, Colombia. Recuperado de https://repository.libertadores.edu.co/

14. CECADE (2014). *Plan estratégico participativo del municipio de Chalatenango, PEP 2014-2020.* Chalatenango: Asociación Centro de Capacitación y Promoción de la Democracia. Chalatenango, El Salvador. Recuperado de https://www.transparencia.gob.sv/institutions/alcchalatenango/documents/182859/download

15. CEL (2010). *Plan de Monitoreo de la calidad del agua en la cuenca del río Lempa, 2003-2008.* San Salvador, El Salvador. Recuperado de https://www.plantrifinio.int/nuestra-institucion/biblioteca

16. CEL/HARZA (1999). *Estudio global de la sedimentación en la cuenca del río Lempa*. Informe Final. El Salvador. Recuperado de https://www.sica.int/

17. Chuang, Y. S., Lay, C. H., Sen, B., Chen, C. C., Gopalakrishnan K, Wud, J. H., Lin, C. S. & Lin, C. Y (2011). *Biohydrogen and biomethane from water hyacinth (Eichhornia crassipes) fermentation: Effects of substrate concentration and incubation temperature*. International Journal of Hydrogen Energy. 36, doi:10.1016/j.ijhydene.2011.04.188

18. CLIMAPESCA (2017). *Embalse Cerrón Grande*. El Salvador. Recuperado de https://climapesca.org/2017/05/09/embalse-del-cerron-grande/

19. CONABIO (2015). *Método de Evaluación Rápida de Invasividad (MERI) para especies exóticas en México*. Distrito Federal, México. Recuperado de https://biodiversidad.gob.mx/media/1/especies/Invasoras/files/Instrutivo_MERI_2020.pdf

20. Copatti, C. E., Fagundes, L. S., Quaini, J. B. & Copatti, B. R. (2013). *Diversity of aquatic arthropods on Eichhornia crassipes (Mart.) Solms roots before and after removal of substrate in a reservoir in southern Brazil*. Pan-American Journal of Aquatic Science. 8(4), 265- 275. Brazil. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/287017595

21. Coronel Castro (2016). *Eficiencia del jacinto de agua (Eichhornia crassipes) y lenteja de agua (Lemna minor) en el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas-Chachapoyas.* (Trabajo de grado para obtener el título profesional de Ingeniero Ambiental) Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza De Amazonas. Chachapoyas, Perú. Recuperado del Repositorio Institucional de la UNTRM.

22. Campuzano Cortina, C., Feijoó Fonnegra, L. M., Manzur Pineda, K., Palacios Muñoz, M., Rendón Fonnegra, J. R. y Zapata Díaz, J. P. (2017). *Efectos de la intoxicación por glifosato en la población agrícola: revisión de tema. CES Medicina,* 8(1), 121-133. Colombia. Recuperado de https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6176888

23. Cuadra Zelaya, C. D. y Romero García, D. A. (2006). *Aplicación de biomonitores para evaluar la contaminación por metales pesados en el lago Suchitlán.* (Trabajo de grado para optar al título de Ingeniera en Alimentos e Ingeniero Químico) Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador. Recuperado del Repositorio Institucional de la UES. http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/2019/

24. Cuello Marín, R. R. (2001). *Utilización de Tarulla (Eichhornia crassipes) y de la Wolia sp en la alimentación de peces*. Universidad de Magdalena. Santa Marta, Colombia. Recuperado de http://repositorio.unimagdalena.edu.co/jspui/handle/123456789/2686

25. Da C. B. D'Agua, J. A., Pereira, R. G. y Marinho, F. J. V. (2015). *Preparación y Caracterización Física del Biocombustible Sólido del Lirio Acuático (Eichhornia crassipes)*. Información Tecnológica, 26(3), 53-62. doi: 10.4067/S0718-07642015000300009

26. Degaga, A. H. (2018). *Water Hyacinth (Eichhornia crassipes) Biology and its Impacts on Ecosystem, Biodiversity, Economy and Human Well-being.* Journal of Life Science and Biomedicine, 8(6), 94-100. Ethiopia. Recuperado de http://jlsb.scienceline.com/attachments/article/64/J.%20Life%20Sci.%20Biomed.%208(6)%2094-100,%202018.pdf

27. Díaz, O., Escobar, E., Gómez, I. y Morán, W. (2010). "*La Dinámica Agroambiental de la Zona Norte del Humedal Cerrón Grande (El Salvador)*". Programa Salvadoreño de Investigación sobre Desarrollo y Medio Ambiente. El Salvador. Recuperado de https://www.prisma.org.sv/storage/2020/02/dinamica_agroamb_capital_natural.pdf

28. Ding, J., Wang, R., Fu, W. & Zhang, G. (2001). *Water Hyacinth in China: Its Distribution, Problems and control status.* Center and Ding Jianqing ACIAR Proceedings 102, 29-32. China. Recuperado de http://www.bio-nica.info/Biblioteca/Jiangquing2001Eichhornia.pdf

29. Echeverri Gil, J. S. (2006). *Diseño de maquina prensadora para hacer briquetas de biomasa.* (Trabajo de grado presentada como requisito parcial de grado Programa de Pregrado en Ingeniería Mecánica) Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia. Recuperado de https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/25606/u275512.pdf?sequence=1

30. Elsanat, Y., Ammar, K. & El-Demery, E. (2012). "*Preperation of Carboxymethyl Cellulose from Water Hyacinth "Nile Flowers" (Eichhornia crassipes) and cavendish banana pseudo stems (Musa cavendishii lambert)".* 6th Arab.Mans. Con. Food & Dairy Sci. Tech. Egipto. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/335985260

31. Eshtiaghi, Yoswathana, Kuldiloke & Ebadi (2012). *Preliminary study for bioconversion of water hyacinth (Eichhornia crassipes) to bioethanol.* African Journal of Biotechnology. 11(21), 4921-4928. doi:10.5897/AJB11.4045.

32. Febrero Toussaint, I., Romero Cruz, O., Ruiz Ortiz, L. y Gonzáles Salas, R. (2005). *Jacinto de agua (Eichhornia crassipes) una alternativa para la alimentación de cerdos en Ceba*. Revista Electrónica de Veterinaria REDVET. 6(5) 1-10. Málaga, España. Recuperado de https://www.redalyc.org/pdf/636/63617216011.pdf-

33. Ganuza Artero, I. J. y Quiusque Argueta, M. G. (2012). *Desarrollo de un microhumedal artificial para el tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario.* (Trabajo de grado para optar al título de Licenciatura en Química y Farmacia) Universidad de El Salvador, San Salvador. Recuperado del Repositorio Institucional de la UES. http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/2101/

34. Gettys, L. A., Haller, W. T. & Petty, D. G. (2014). *Biology and Control of Aquatic Plants*. A Best Management Practices Handbook: Third Edition. Estados Unidos. Recuperado de https://www.shorelineaquatic.com/literature/bmp%203rd%20edition.pdf

35. Gómez Almonte, M. K. (2005). *Índice de Vegetación en Áreas del Bosque Seco del Noroeste del Perú a partir de imágenes Satelitales. (*Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero industrial y de Sistemas) Universidad de Piura, Facultad De Ingeniería, Piura, Perú. Recuperado del Repositorio Institucional PIRHUA. https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/1182

36. Guillén Watson (2010). *Caracterización de los Parámetros de Operación de los Biodigestores a Escala del Instituto Tecnológico de Costa Rica*. (Informe presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniería en Biotecnología con grado académico de Bachillerato Universitario). Centro de Investigación y Laboratorio de Servicios Químicos y Microbiológicos (CEQIATEC). Escuela de Biología. Instituto tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Recuperado del Repositorio Institucional Tecnológico de Costa Rica. https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/693

37. Greenfield, B. K., Blankinship, M., & Mcnabb, T. J. (2006). *Control Costs, Operation, and Permitting Issues for Non-chemical Plant Control: Case Studies in the San Francisco Bay-Delta Region, California*. Journal of Aquatic Plant Management, 44(1), 40-49. Estados Unidos. Recuperado de http://aquatics.com/images/SEFI_Article.pdf

38. Henríquez, D., Quintanilla, K., Rodríguez, A. & Pocasangre, C. (2020). *Monitoring heat flux using Landsat 8 OLI/TIRS + satellite imagery. A case of study at Ecoparque El Espino, El Salvador*. Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador. Articulo por publicar en Portal de Revistas de la Universidad de El Salvador.

39. Hernández, J. A, Torres García, A., Conejo Moreno, F. B., Oliva González, A. S. y Ardila A., A. N. (2015). *Aprovechamiento de Eichhornia crassipes (lirio acuático) proveniente de la zona de Yuriria, Guanajuato, como fuente de Lignina, Celulosa y Hemicelulosa*. Innovación y desarrollo tecnológico revista digital. 7(1). ISSN: 2007-4786. México. Recuperado de https://iydt.files.wordpress.com/2016/03/01-aprovechamiento-de-eichhornia-crassipes-proveniente-de-la-zona-de-yuririra1.pdf

40. Hosea, F. A. & Wibawa, K. L. (2018). *Eichhornia crassipes: The Innovation of Bioplastics. Center for Young Scientists*, SMPK Cita Hati West. Surabaya, Indonesia. Recuperado de https://www.cys.or.id/docs/apcys_2018_abstract_felicia_angie_hosea.pdf

41. INGESA (2015). *Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad Regional para el proyecto: Programa de Control Integral de Maleza Acuática en el Lago de Chapala*. México. Recuperado de http://sinat.semarnat.gob.mx

42. INVAWET (2018). *Humedales tropicales, especies invasoras y salud*. Red temática INVAWET 2015-2018 del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, CYTED. Madrid, España. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Gabriel_ParraHenao2/publication/325626644

43. Jaramillo Jumbo, M. y Flores Campoverde, E. D. (2012) *Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales Lemmmna minor (Lenteja de agua), y Eichhornia crassipes (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera.* Ecuador (Trabajo de grado para optar al título de ingeniero Ambiental), Universidad Politécnica Salesiana, sede cuenca. Ecuador. Recuperado de Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana. https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2939

44. Jerves, D. N. (2012). A*provechamiento del lechuguín ("Eichhornia crassipes") para la generación de abono orgánico mediante la utilización de tres diseños diferentes de biodigestores*. (Tesis previa a la obtención del Título Ingeniero Ambiental) Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador. Recuperado de https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1938

45. Jiménez Fonseca, A. L. (2018). *Proceso de producción de bioetanol, a partir de la biomasa hidrolizada de la Eichhornia crassipes con la levadura (Saccharomyces cerevisiae).* Fundación Universitaria los Libertadores. Bogotá, Colombia. Recuperado de https://repository.libertadores.edu.co/

46. Juárez Alvarado, J. L., Jesús Isla, R. E. y Arias Trinidad, A. (2015). *Coprocesamiento de lirio acuático (Eichhornia crassipes) para elaboración de papel ecológico.* Tópicos Selectos de Educación Ambiental-ECORFAN, Veracruz, México. Recuperado de https://www.ecorfan.org/actas/educacion_ambiental_II/ACTA-Educacion-Ambiental-desde-la-Innovacion-Tomo-2-85-93.pdf

47. JULONG (2019). Qingzhou Julong Environment Technology Co., Ltd. China. Recuperado de https://dredgerchina.en.made-in-china.com/

48. KEHAN (2019). ShanDong KeHan Ecology Tech Co., Ltd. China. Recuperado de http://kdredger.com/product_view_66_157.html

49. Labrada, R. Caseley, J. C y Parker, C. (1996). *Manejo de Malezas para Países en Desarrollo*. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal 120. ISSN 1014-1227. Roma, Italia. Recuperado de http://www.fao.org/3/t1147s00.htm

50. Labrada, R. (2016). *Jacinto de agua (Eichhornia crassipes), problema solucionable a través del control integrado.* International Weed Science Congress. Colombia. Recuperado de https://deportescineyotros.wordpress.com/2016/01/18/

51. Lareo, L. & Bresani, R. (1981). *Possible utilization of the water hyacinth in nutrition and industry.* Food and nutrition Bulletin (4) 4, 60 -64. Guatemala. Recuperado de https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/156482658200400403

52. La Gaceta Suchitoto (2019). *El lirio de agua, la gran amenaza del lago Suchitlán, La Gaceta Suchitoto.* El Salvador. Recuperado de https://gacetasuchitoto.com/index.php/2019/12/09/el-lirio-de-agua-la-gran-amenaza-del-lago-suchitlan/

53. León Delgado, V. A, Montoya López, A. B. y Rivera Galdámez, A. E. (2013). Caracterización Hidrogeológica De La Zona Sur Del Municipio De Chalatenango, Limítrofe Con El Embalse Cerrón Grande. Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador. Recuperado de Repositorio Institucional de la Universidad de El Salvador. http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/3401/

54. Lowe S., Browne M., Boudjelas S. y De Pooter M., (2004). *100 de las Especies Exóticas Invasoras más dañinas del mundo. Una selección del Globan Invasive Species Database.* Grupo Especialista de Especies Invasoras, GEEI. Nueva Zelanda. Recuperado de http://www.iucngisd.org/gisd/pdf/100Spanish.pdf

55. MARN (2004). *Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar*. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. El Salvador. Recuperado de https://rsis.ramsar.org/RISapp/files/RISrep/SV1592RIS.pdf

56. MARN (2012a). *Catálogo de Mapas de Zonas Criticas Prioritarias en Humedales Ramsar de El Salvador.* Medio Ambiente y Recursos Naturales. El Salvador. Recuperado de http://cidoc.marn.gob.sv

57. MARN (2012b). *Informe de la Calidad de Agua de los Ríos El Salvador, año 2011. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.* Observatorio Ambiental, Servicio Hidrológico Nacional. El Salvador. Recuperado de http://rcc.marn.gob.sv

58. MARN (2014). *Quinto Informe Nacional para el Convenio sobre la Diversidad Biológica. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Informe Preliminar septiembre 2014.* El Salvador. Recuperado de http://cidoc.marn.gob.sv

59. MARN (2015). *Boletín Climatológico, Anual 2015*. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. El Salvador. Recuperado de https://www.snet.gob.sv

60. MARN (2018). *Inventario Nacional de Humedales de El Salvador.* Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. El Salvador. Recuperado de https://www.sv.undp.org

61. MARN/ISCOS (2017). *Plan de Manejo Integral Participativo de los Recursos Naturales del Humedal Embalse Cerrón Grande 2017-2022*. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. El Salvador. Recuperado de http://cidoc.marn.gob.sv

62. MARN/FIAES/ ADEL Chalatenango (2014*). Investigación de la Caracterización del Jacinto de Agua Eichhornia crassipes del humedal Cerrón Grande, para determinar su aprovechamiento como materia prima en la elaboración de productos, agroindustriales, industriales o artesanales.* Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, FIAES, ETC. Chalatenango, El Salvador. Recuperado de https://pdfslide.net/documents/caracterizacion-del-jacinto-de-agua.html

63. Martínez Jiménez, M. (2004). *Progresos en el manejo del jacinto de agua (Eichhornia crassipes). Manejo de malezas para países en desarrollo*. Manejo de malezas para países en desarrollo Addendum I. FAO. Roma, Italia. Recuperado de http://www.fao.org/3/y5031s0c.htm#bm12

64. Mazón, F. Y. (2019). *Aprovechamiento sostenible del Jacinto de agua (Eichhornia crassipes) y estudio del uso potencial de las micro algas del sito Ramsar Embalse Cerrón Grande.* Universidad Centroamerica “José Simeón Cañas”. San Salvador, El Salvador. Recuperado de Repositorio Institucional UCA. http://hdl.handle.net/11674/2704

65. Mella, C. A. (2005). *Utilización del jacinto acuático Eichhornia crassipes (Mart) Solms 1883) como sistema de tratamiento para la eliminación de materia orgánica y color en efluente de celulosa kraft.* (Tesis entregada para la Universidad Católica de la Santísima Concepción para optar al grado académico de Licenciado en Ciencias y al título profesional de Biólogo Marino). Concepción, Chile. Recuperado de http://www.eula.cl/giba/wp-content/uploads/2017/09/tesis-cesar-lagos-2005.pdf

66. Mahesh W. Jayaweera, Jayakodi A. T., Ranil K. A. y Suren L. J. (2007). Biogas production from water hyacinth (Eichhornia crassipes (Mart.) Solms) grown under different nitrogen concentrations. Taylor & Francis, (42)7, 925-932, doi: 10.1080/10934520701369842

67. Montenegro Aquino, Tapia Molina y Cárdenas Murrillo (2010). *Diseño, Construcción y Puesta en Marcha de Biodigestor con Biomasa Obtenida del Jacinto de Agua (Eichhornia crassipes)*. Instituto de Ciencias Químicas y Ambientales. Escuela superior Politécnica del Litoral (ESPOL). Guayaquil, Ecuador. Recuperado de http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/24359

68. Monzón de C., F. Y., Rovira Q., M. D. y Osegueda, O. (2019). *Aprovechamiento sostenible del Jacinto de agua (Eichhornia crassipes) y estudio del uso potencial de las microalgas del sitio Ramsar Embalse Cerrón Grande.* Universidad Centroamericana José Simeón Cañas. El Salvador. Recuperado de Repositorio UCA. http://hdl.handle.net/11674/2704

69. Muñoz Montañez, J. A. y Zapata Moreno, D. A. (2019). *Evaluación de la obtención de celulosa partiendo del buchón de agua (Eichhornia crassipes) mediante la hidrolisis básica y el proceso enzimático del hongo Pleurotus ostreatus*. Fundación Universidad de América. Bogotá, Colombia. Recuperado de https://hdl.handle.net/20.500.11839/7605

70. Muñoz Solart, D. M. y Ante, L. A. (2017). *Estandarización de un protocolo in vitro para el control biológico de Eichhornia crassipes con Neochetina (Coleoptera: Curculionidae).* Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. Edición Especial (1), 40-48. Colombia. Recuperado de http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v15nspe/v15nspea05.pdf

71. Narváez León, P. A. (2018). *Utilización de Eichhornia crassipes como alternativa en alimentación animal en la cuenca hidrográfica de la depresión Momposina.* Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. Especialización en nutrición animal sostenible. Colombia. Recuperado de Repositorio de UNAD. https://repository.unad.edu.co/handle/10596/24465

72. ONU (2015). *Decenio Internacional para la Acción "El agua fuente de vida".* Organización de las Naciones Unidas. España. Recuperado de https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml

73. Ospino, K. Gómez, E. y Ríos, L. (2020). *Evaluación de técnicas de pretratamiento en buchón de agua (Eichhornia crassipes) para la producción de bioetanol.* Información Tecnológica, 31(1), 215-226. Colombia. Recuperado de http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642020000100215

74. Párraga Alava, C., Barre Zambrano, R., Dueñas Rivadeneira, A., Muñoz Murillo, J. y Zambrano Vélez, M. (2018). *Elaboración de harina a partir de Eichhornia Crassipes utilizando diferentes métodos de deshidratación*. Universidad Católica de Manabí. Pontificia Universidad Católica de Ecuador. Manabí, Ecuador. Recuperado de http://www.journalprosciences.com/index.php/ps/article/view/41/50

75. Perales Vásquez, K. L. (2018). *Tratamiento de aguas residuales domesticas por fitorremediación con Eichhornia crassipes en la zona rural del caserío Santa Catalina Moyobamba 2017.* (Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Ambiental) Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto. Moyobamba, Perú. Recuperado de Repositorio UNSM.

76. Pirvu Mihaela (2019). *Estrategia de gestión, control y posible erradicación del camalote (Eichhornia crassipes).* Ministerio para la transición ecológica. Gobierno de España. España. Recuperado de https://www.miteco.gob.es

77. Pizá Cedano, H. S., Rolando Franco, S., Ramírez Urbina, C. C., Villanueva Benites, S. y Zapata Carrasco, A. P. (2017). *Análisis experimental de la elaboración de bioplástico a partir de la cáscara de plátano para el diseño de una línea de producción alterna para las chifleras de Piura, Perú.* Universidad de Piura. Piura, Perú. Recuperado del Repositorio Institucional PIRHUA. https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/3224

78. Pozo Yépez, C. G. (2012). *Fitorremediación de las aguas del canal de riego Latacunga – Salcedo – Ambato mediante humedales vegetales a nivel de prototipo de campo Salcedo – Cotopaxi.* (Trabajo de Investigación para obtención del grado académico de Magíster en Producción más Limpia) Universidad Técnica de Ambato. Ecuador. Recuperado de Repositorio UTA. https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/1939

79. Preethi, K., Vineetha & Mridul Umesh (2015). *Water Hyacinth: A Potential Substrate for Bioplastic (PHA) Production Using Pseudomonas aeruginosa*. International Journal of Applied Research 2015, 1(11), 349-354. Inidia. Recuperado de https://www.allresearchjournal.com

80. Quihue Cabezas, J. G. (2014). *Obtención de fibras a partir de raquis de plátano para la producción de pulpa de papel.* (Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Químico) Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Ayacucho, Perú. Recuperado de Repositorio Institucional UNSCH. http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/1039

81. Quispe Baldeón, L., Arias Chaves, J. B., Martínez Suarez C. F. y Cruz Huaranga, M. (2017). *Eficiencia de la especie macrófita Eichhornia crassipes (Jacinto de agua) para la remoción de parámetros fisicoquímicos, metal pesado (Pb) y la evaluación de su crecimiento en función al tiempo y adopción al medio en una laguna experimental.* Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo. 3(1), 79-93. doi:10.17162/rictd.v1i1.899

82. Rahmawati W., Haryanto A. & Suharyatun, S. (2018). *Development of Biodegradable Board using Water Hyacinth (Eichornia crassipes).* International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology (IJEAB). 3(2), 170-174 doi: 10.22161/ijeab/3.1.21

83. Ramil Rego, P., Rubinos Román, M., Goméz Orellana, L., Rodriguez P. e Hinojo Sanchez, B. (2014). *Eichhornia crassipes (Mart) Solms en el Parque Nacional Marítimo-Terrestre das Illas Atlánticas de Galicia como resultado de un transporte por mar a larga distancia.* IBADER. Instituto de Biodiversidade Agraria e Desenvolvemento Rural. Recursos Rurais (2014), (1), 15-24. España. Recuperado de https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5559461.pdf

84. Rajeshwari Sivaraj, R. Venckatesh, Gowri & G. Sangeetha (2010). *Activated carbon prepared from Eichhornia crassipes as an adsorbent for the removal of dyes from aqueous solution.* International Journal of Engineering Science and Technology, 2(6). India. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/50282044

85. Rodríguez Meléndez, A. G., Colmenares Mestizo, F. A., Barragán Vega, J. C. y Mayorga Betancourt, M. A. (2017). *Aprovechamiento energético integral de la Eichhornia crassipes (Buchón de agua).* Ingenium, 18(35), 134-151. Colombia. Recuperado de https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6089821.pdf

86. Ruiz Téllez, T., Brufao Curiel, P., Blanco Salas, J. y Vásquez Pardo, F. M. (2016). *Pasado, presente y futuro de una invasión biológica: Eichhornia crassipes (Mart.) Solms (camalote) en el rio Guadiana.* Área botánica. Facultad de Ciencias. Conservación Vegetal 20. Universidad de Extremadura. España. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/308698309

87. Runjuan Zhou, Ming Zhang, Jinhong Zhou & Jinpeng Wang (2019). *Optimization of biochar preparation from the stem of Eichhornia crassipes using response surface methodology on adsorption of Cd2+.* Scientific Reports. 9(1), doi: 10.1038/s41598-019-54105-1

88. Sacristán Romero, F. (2007). *La teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental.* Scripta Ethnologica, 19(1), 79-90. Buenos Aires, Argentina. Recuperado de https://www.redalyc.org/pdf/148/14802905.pdf

89. Saha S. & Kumar Ray A (2010). *Evaluation of Nutritive Value of Water Hyacinth (Eichhornia crassipes) Leaf Meal in Compound Diets for Rohu, Labeo rohita (Hamilton, 1822) Fingerlings after Fermentation with Two Bacterial Strains Isolated from Fish Gut.* Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 11, 199-207. doi: 10.4194/trjfas.2011.0204

90. Sakchai Pattra & Sureewan Sittijunda (2017). *Biohydrogen productions from hydrolysate of water hyacinth stem (Eichhornia crassipes) using anaerobic mixed cultures*. Sains Malaysiana 46(1), 51–58. doi: 10.17576/jsm-2017-4601-07

91. Salas Ruiz, A., Barbero Barrera, M. M. & Ruiz Téllez, T. (2019). *Microstructural and Thermo-Physical Characterization of a Water Hyacinth Petiole for Thermal Insulation Particle Board Manufacture.* Materials. 12, 560; doi: 10.3390/ma12040560

92. Sierra Club of Canada (2005). *Overview of the toxic effects of 2,4-D.* Sierra Club Canada Foundation. Ottawa, Canadá. Recuperado de https://www.sierraclub.ca/national/programs/health-environment/pesticides/2-4-D-overview.pdf

93. Solis Cordero, E. M. y Vásquez Inca, G. A. (2019). *Evaluación del potencial energético de la Eichhornia crassipes para su aplicación como biocombustible.* (Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Químico) Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador. Recuperado de Repositorio Institucional de la Universidad de Guayaquil. http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/45656

94. Sosa, A. y Cecere M. C. (2018). "*Control Biológico de macrofitas La Laguna del Ojo; Reserva San Vicente".* Trabajo Práctico Ecología General, Guía de Trabajo de Campo. Argentina. Recuperado de http://www.ege.fcen.uba.ar/wp-content/uploads/2014/05/Guia-SV-2018_28-mayo.pdf

95. Tejada de Hernández, I. (1974). *Valor nutritivo del lirio acuático (Eichhornia crassipes) para el pollo en crecimiento*. Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica, Instituto Nacional de Investigaciones Pecuarias. Distrito Federal, México. Recuperado de https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/download/2726/2290

96. Tejada Tovar, Paz Astudillo, Villabona Ortiz, Espinosa Fortich y López Badel (2017). *Aprovechamiento del Jacinto de Agua (Eichhornia crassipes) para la síntesis de carboximetilcelulosa.* Revista Cubana Química. 30(2), 211-221. ISSN: 2224-5421. Colombia. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224542120180002000003

97. Terán Guerrero, J. E. y Solorzano Solís, P. D., (2013). *Obtención de bioetanol del jacinto de agua (Eichhornia crassipes) proveniente del Embalse Sixto Durán Ballen mediante proceso enzimático*. (Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Ambiental) Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Ecuador. Recuperado de Repositorio Digital ESPAMMFL http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/188

98. Toribio, Gladys (2018). *NDVI, ¿qué es y para qué sirve? Cursos Teledetección.* España. Recuperado de https://www.cursosteledeteccion.com/ndvi-que-es-y-para-que-sirve/

99. Valencia Oviedo, J. A., Maravilla Miranda, S. A. y Herrera Torres, L. M. A (1982). *Aprovechamiento industrial del jacinto de agua (Eichhornia crassipes) para pulpa de papel*. (Seminario de Graduación para optar al título de Ingeniero Químico) Universidad de El Salvador. San Salvador, El Salvador. Biblioteca Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

100. Valle Barrientos, C. I. (2009). *Aprovechamiento del jacinto acuático de la planta de tratamiento "Ing. Arturo pazos sosa" para la producción de abono orgánico.* Guatemala: estudio especial para universidad de San Carlos, Guatemala. (Trabajo de grado para optar al título Maestra en Ingeniería Sanitaria). Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0392_MT.pdf

101. Vélez, F., Aguirre, N., González, E., Osorio, Y., Marín, N. & Atehortua, E. (2013). *Caracterización de plantas acuáticas y material vegetal para el desarrollo de un biocombustible sólido*. Revista Colombiana de Materiales (5), 152-157. Edición Especial Artículos Cortos. Medellín, Colombia. Recuperado de https://revistas.udea.edu.co/index.php/materiales/article/view/19445/16613

102. Vilca, F. Z., Angeles, W. G., Quiróz, C. N., y Cuba, W. A. (2018). *Glifosato en cuerpos hídricos: problema ambiental*. Revista de Investigaciones Altoandinas; 20(3), 325 – 332 doi: 10.18271/ria.2018.396

103. Villalba, K. O. y Ríos L. A. (2012). *Producción de bioetanol a partir de jacinto de agua (Eichhornia crassipes) respecto a otros materiales lignocelulósicos.* Aguncuya. 2(1), 42-62. Colombia. Recuperado de https://revia.areandina.edu.co/index.php/Cc/article/view/302/331

104. Villamagna, A. M. (2009). *Ecological effects of water hyacinth (Eichhornia crassipes) on Lake Chapala, Mexico.* Blacksburg, Virginia: Dissertation submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University. Estados Unidos. Recuperado de https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.538.8227&rep=rep1&type=pdf

105. Villamagna, A. M., & Murphy, B. R. (2009). *Ecological and socio-economic impacts of invasive water hyacinth (Eichhornia crassipes): a review*. Freshwater Biology. (55), 283-298. doi:10.1111/j.1365-2427.2009.02294.x.

106. WHO (1984). *Paraquat and Diquat - Environmental Health Criteria 39.* World Health Organization (WHO). Geneva, Suiza. Recuperado de https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/29341/EHC39Paraquat.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ANEXOS

ANEXO A
TABLAS ATRIBUTOS ÁREA

A continuación, se presentan las tablas que contienen los datos de las áreas cubiertas por maleza acuática sana y agua en el lago Suchitlán determinados por el método de teledetección con las bandas 4 y 5 tomadas del sensor óptico satelital LANDSAT de la herramienta del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) "EarthExplorer" y combinadas en el software libre QGIS.

ANEXO A.1: Tabla Atributo – Área cubierta por agua para el año 2014 generada por el método de teledetección en el software libre QGIS

Id	Área	Id	Área	id	Área	Id	Área
1	31494048.75	12	9625.21	23	75525.21	34	1197331.56
2	2790100.71	13	1402.32	24	1303454.25	35	120908.15
3	64190.85	14	35855.43	25	371421.98	36	1143622.31
4	2917.94	15	121906.17	26	163667.09	37	36766.50
5	38182990.44	16	21972.52	27	983409.62	38	241450.20
6	2859.71	17	1827.54	28	34394.28	39	181215.04
7	92229.66	18	773.46	29	477204.77	40	11799.41
8	914.24	19	1851.54	30	90673.36	41	422351.90
9	20021.66	20	13819.69	31	520054.55	42	171935.75
10	20057.09	21	3027.17	32	296963.74	43	442390.75
11	9407.63	22	1833462.07	33	278874.70		

ANEXO A.2: Tabla Atributo – Área cubierta por maleza acuática sana para el año 2014 generada por el método de teledetección en el software libre QGIS

Id	Área	Id	Área	Id	Área	Id	Área
1	10792.5	36	10840.42	71	1092.87	106	6546.87
2	446.71	37	8863.65	72	5336.13	107	4113.18
3	314.07	38	269.96	73	3377.08	108	914.6
4	9106.46	39	187.43	74	307.66	109	9275.04
5	510.85	40	709.32	75	881.05	110	2817.46
6	75878.83	41	6484.21	76	2137.43	111	6529.38
7	33.43	42	1426.4	77	1501.02	112	2079.81
8	698.97	43	608.21	78	831.8	113	345.9
9	221.19	44	1515.09	79	4800.11	114	5312.92
10	855904.72	45	403.19	80	34536.89	115	41654.9
11	1441078.5	46	1451.63	81	3199.51	116	3357.65
12	6716.4	47	13315.63	82	1108.32	117	207.71
13	6.96	48	8654.67	83	553.76	118	19465.36
14	1250.48	49	1626.79	84	2217.01	119	35852.23
15	546.85	50	5591.71	85	11071.15	120	16912.87
16	16.39	51	2467.41	86	811.29	121	4763.01
17	40.06	52	1909.09	87	1191.67	122	260938.17
18	27.67	53	1991.68	88	924.47	123	21275.93
19	2582.19	54	4228.93	89	3072.89	124	2988.58
20	904.16	55	1067.92	90	1088.37	125	3265.28
21	2191.65	56	2664.07	91	1193.92	126	903.21
22	92.16	57	6376.52	92	476.42	127	13666.05
23	10856.2	58	3806.53	93	10553.69	128	2994.55
24	117.41	59	2065.5	94	673.3	129	1657.23
25	5269.57	60	4016.87	95	5176.52	130	3342.84
26	20793.33	61	291.64	96	1969	131	1192.58
27	3947.49	62	1964.8	97	1834.18	132	33453.71
28	66.81	63	5453.55	98	564.06	133	32932.3
29	51.59	64	3764.2	99	3911.99	134	4675.57
30	336.5	65	2660.13	100	5574.84	135	5579.54
31	3226.47	66	14507.03	101	6601.72	136	13189.26
32	17771.6	67	9936.87	102	88152.49	137	344.56
33	600.39	68	123484.87	103	129608.7	138	11484.65
34	10639.18	69	13146.83	104	194477.43	139	13393.83
35	2679.76	70	39896.61	105	81153.74	140	2258.25

Continua…

ANEXO A.2: Tabla Atributo - Área cubierta por maleza acuática sana para el año 2014 generada por el método de teledetección en el software libre QGIS

(Continuación)

Id	Área	Id	Área	id	Área	id	Área
141	960.63	170	67042.83	199	31407.73	228	1032.83
142	9257.2	171	5644.02	200	34301.56	229	991.53
143	1531.2	172	54578.47	201	348494.49	230	10670.12
144	855611.74	173	3075.55	202	191831.41	231	24596.72
145	13390.02	174	8785.15	203	71901.43	232	4512.95
146	1768.82	175	4546.17	204	80626.15	233	1186.92
147	60247.59	176	9587.57	205	190397.06	234	6007.21
148	70261.21	177	13298.35	206	693753.72	235	6053.27
149	14332.67	178	12516.81	207	6276.72	236	7224.29
150	12459.56	179	4006.19	208	9683.78	237	616.72
151	8059.64	180	57664.66	209	14319.86	238	11289.75
152	94848.67	181	5062.16	210	13729.09	239	98390.77
153	10908.27	182	10858.23	211	93678.75	240	69763.28
154	4730.96	183	6517.82	212	20877.17	241	16735.25
155	10064.4	184	6571.59	213	100845.42	242	11544.41
156	4948.74	185	49792.84	214	2458.47	243	6789.56
157	24964.34	186	11069.85	215	13719.83	244	10714.72
158	7209.84	187	5575.21	216	22299.6	245	14856.81
159	9587.29	188	89998.42	217	14149.37	246	6571
160	18950.91	189	30143.24	218	23516.73	247	160909.26
161	24087.54	190	140823.79	219	28579.2	248	5424.22
162	52163.71	191	260980.78	220	4840.08	249	61200.48
163	37254.53	192	24175.97	221	3023.7	250	19609.4
164	22575.27	193	8561.47	222	1107.46	251	27343.2
165	379963.53	194	334712.96	223	21715.71	252	94484.08
166	16058.19	195	7081.92	224	1515.26	253	758668.73
167	89282.32	196	460779.26	225	4807.75	254	23514.23
168	23241.5	197	108722.47	226	1729.5	255	411290.98
169	5011.69	198	16195.5	227	3113.81	256	175196.35

ANEXO A.3: Tabla Atributo- Área cubierta por agua para el año 2016 generada por el método de teledetección en el software libre QGIS.

Id	Área	Id	Área	Id	Área	Id	Área
1	143.97	36	8209.35	71	96.08	106	16236.96
2	467.87	37	27440.68	72	44764.9	107	97530.48
3	729.66	38	0.78	73	1123.97	108	441.86
4	215.98	39	4.11	74	13809.88	109	18088.9
5	353.12	40	6188.86	75	340.99	110	190.93
6	903027.89	41	3874.83	76	8297804.6	111	22964.21
7	24071.94	42	4222.81	77	4974.48	112	2352.06
8	43590.12	43	13087.16	78	801.92	113	2799.43
9	598.48	44	84.82	79	0.21	114	1105.13
10	7448.81	45	185.24	80	49.97	115	561.46
11	14899.22	46	71540.46	81	13227.31	116	25652.93
12	55406.28	47	183.61	82	566.24	117	4.04
13	12847.77	48	10.26	83	243004.44	118	76.93
14	1836.35	49	3083.57	84	264.2	119	60.91
15	1207.88	50	13779581	85	15402.9	120	24719.18
16	815.17	51	39017329	86	56151.94	121	18.25
17	818.34	52	10169.37	87	27280512	122	720.97
18	228.56	53	3383.85	88	7223.09	123	1079.23
19	641.32	54	99.38	89	18557.72	124	59.37
20	2059.56	55	326.94	90	536.34	125	4996.71
21	8937.69	56	541.36	91	797.73	126	86.53
22	1123.09	57	17894.77	92	6733.83	127	555.24
23	25185.65	58	1006.76	93	18075.65	128	23341.38
24	10968.17	59	18.65	94	35977.28	129	662.34
25	631.88	60	3914.26	95	85.56	130	180.91
26	4287.03	61	18727.11	96	3646.3	131	64.85
27	6818.62	62	111223.8	97	20443.28	132	954.6
28	25597.98	63	1369.7	98	1397.8	133	374.8
29	123.17	64	1805.03	99	55.6	134	838.62
30	525120.14	65	449.45	100	10.59	135	3359.69
31	355.07	66	9.02	101	89.81	136	30181.05
32	107.94	67	136.19	102	256.08	137	404806.36
33	745.44	68	155763.52	103	165.84	138	87646.79
34	13.45	69	2030.94	104	3739.01	139	3368.56
35	12895.16	70	2314.35	105	6489.89	140	27141.51

Continua…

ANEXO A.3: Tabla Atributo- Área cubierta por agua para el año 2016 generada por el método de teledetección en el software libre QGIS.

(Continuación)

Id	Área	Id	Área	Id	Área	Id	Área
141	21.44	146	7033.04	151	46.78	156	4886.42
142	1004.48	147	3279.89	152	795.22	157	152.49
143	350.85	148	326.24	153	230.52		
144	30.7	149	3759.13	154	4038.55		
145	150.78	150	7114.33	155	1473.54		

ANEXO A.4: Tabla Atributo- Área cubierta por maleza acuática sana para el año 2016 generada por el método de teledetección en el software libre QGIS.

Id	Área	Id	Área	Id	Área	Id	Área
1	227.78	36	29164.89	71	13235.24	106	11.74
2	656.66	37	6922.47	72	41.12	107	218.03
3	6289.39	38	10691.51	73	210.47	108	8.4
4	84.2	39	10833.59	74	102.73	109	540.86
5	18.23	40	6810.81	75	1140.61	110	1974.95
6	232.04	41	16.22	76	1058.53	111	608.34
7	11.67	42	867.32	77	3966.88	112	468.89
8	28303.6	43	11785.12	78	357.58	113	1173.19
9	60.32	44	26.43	79	8560.9	114	2042.92
10	2003.77	45	2922.04	80	632.53	115	879.69
11	431.99	46	122.03	81	20087.51	116	118.78
12	244.17	47	915.8	82	2.29	117	1054.73
13	3497.41	48	1361.68	83	89.61	118	824.75
14	2.21	49	776.66	84	662.73	119	1032.3
15	70.87	50	4088.39	85	24925.89	120	859.52
16	1892.98	51	285.19	86	3816	121	4408.11
17	673.84	52	1299.67	87	3799.06	122	5545.93
18	977.75	53	7098.02	88	2530.88	123	945.62
19	2240.6	54	705.77	89	7486.04	124	3131.49
20	98.24	55	7844.65	90	9233.42	125	97.18
21	41758.16	56	19236.34	91	1512.87	126	3459.42
22	5654.22	57	11899.78	92	413.1	127	658.88
23	68.45	58	15344.76	93	5917.4	128	5.21
24	785.04	59	8114.25	94	478.19	129	3649.15
25	1993.09	60	1386.6	95	2987.39	130	4249.36
26	219.86	61	1729.59	96	3507.81	131	2815.61
27	24.44	62	68498.12	97	1452.61	132	2258.98
28	4797.99	63	719.17	98	3242.42	133	143.22
29	8460.45	64	2659.36	99	187.09	134	2911.58
30	6315.58	65	728.73	100	16.27	135	4148.02
31	3214.09	66	3289.73	101	11892.47	136	197.5
32	124.87	67	10020.12	102	2246.26	137	116421.22
33	1871.83	68	1495.57	103	4898.03	138	23163.75
34	6683.31	69	14053.27	104	585.71	139	13032.06
35	4140.09	70	5.16	105	8.29	140	4643.61

Continua…

ANEXO A.4: Tabla Atributo- Área cubierta por maleza acuática sana para el año 2016 generada por el método de teledetección en el software libre QGIS.

(Continuación)

Id	Área	Id	Área	Id	Área	Id	Área
141	3537.65	176	49.14	211	326.72	246	5628.7
142	4254.12	177	2.92	212	2327.09	247	7948.22
143	58.11	178	913.47	213	16750.25	248	12918.7
144	901.04	179	610.5	214	23.48	249	10598.98
145	1678.29	180	3474.27	215	171.57	250	361.51
146	2969.66	181	173.76	216	3628.84	251	2753.05
147	21.13	182	1132.08	217	287.6	252	2012.97
148	170.42	183	2594.45	218	5782.94	253	3940.11
149	911.04	184	40495.96	219	6955.18	254	2565.83
150	71.83	185	11000.85	220	1035.79	255	590.75
151	815.97	186	74.47	221	1011.14	256	214.52
152	921.55	187	18998.17	222	326.8	257	843.43
153	83.54	188	2659.54	223	255.52	258	11340.39
154	1.86	189	19032.44	224	506.23	259	1244.79
155	3049.29	190	19421.44	225	37.65	260	2781.6
156	4.21	191	2448.15	226	48.14	261	3077.03
157	153.96	192	1500.79	227	12712.65	262	2725.41
158	272.72	193	1.83	228	1484.68	263	66.69
159	1103.92	194	1875.75	229	6174.52	264	121.2
160	284.57	195	12946.89	230	184.45	265	1934.82
161	192.77	196	2732.41	231	151.69	266	11.07
162	175172.79	197	21784.37	232	1003.7	267	1066.36
163	202.86	198	98.15	233	16653.23	268	299.57
164	13157	199	1158.97	234	35407.33	269	64.21
165	7.83	200	621.1	235	1436.71	270	3608.63
166	3702.04	201	9237.15	236	35.71	271	174.57
167	352.2	202	2206.22	237	70.95	272	81925.04
168	1948.06	203	21.57	238	6323.38	273	44158.7
169	3696.48	204	6589.91	239	1593.92	274	91.79
170	431.88	205	5986.75	240	102.97	275	476.49
171	517.7	206	725.57	241	3077.03	276	206.6
172	318.5	207	5383.8	242	2725.41	277	522.37
173	101076	208	139.62	243	66.69	278	1138.97
174	18661.3	209	52.64	244	121.2	279	2085.15
175	61.28	210	74.01	245	1934.82	280	934.26

Continua…

ANEXO A.4: Tabla Atributo- Área cubierta por maleza acuática sana para el año 2016 generada por el método de teledetección en el software libre QGIS.

(Continuación)

Id	Área	Id	Área	Id	Área	id	Área
281	9413.77	316	373.13	351	2558.14	386	44.87
282	873.63	317	4129.66	352	23.57	387	326.77
283	2789.83	318	4135.04	353	242.64	388	3934.58
284	34.97	319	59.31	354	1393.69	389	79.83
285	120.19	320	1500.14	355	201.22	390	3653.9
286	201.59	321	2652.22	356	950.91	391	197.22
287	65575.18	322	12.24	357	551.13	392	96.78
288	10179.85	323	2662.89	358	146.73	393	3289.08
289	14470.34	324	1638.94	359	17.23	394	105.89
290	65490.93	325	587.27	360	297.26	395	362.55
291	88.09	326	7388.59	361	10342.55	396	267.47
292	430.02	327	527.93	362	5974.69	397	226.26
293	31523.98	328	11386.33	363	446.1	398	1796.41
294	5288.81	329	418.83	364	2870.33	399	178.69
295	1483.04	330	4827.45	365	1614.04	400	90125.92
296	942.51	331	352.88	366	30.14	401	61986.73
297	14470.71	332	953.85	367	481.68	402	553.14
298	906.81	333	732.71	368	102.91	403	303.21
299	1.88	334	625.62	369	8411.61	404	25.7
300	623.18	335	591.84	370	113.11	405	125.28
301	5964.57	336	272.09	371	911.86	406	52.84
302	56650.35	337	92.73	372	582.09	407	2215.2
303	1467.23	338	399.74	373	12.08	408	282.2
304	519.24	339	83.5	374	33.25	409	612.5
305	3281.14	340	760.21	375	417.61	410	8.33
306	2327.31	341	195.22	376	1198.65	411	93.31
307	5734.63	342	151.93	377	93.28	412	29.7
308	1057.16	343	2592.3	378	187.92	413	1269.55
309	285.06	344	229.62	379	977.78	414	199.32
310	5452.4	345	140.1	380	347.9	415	2098.31
311	8.81	346	2846.22	381	2790.68	416	284.75
312	76.95	347	331.35	382	489.25	417	9848.05
313	8097.95	348	5037.82	383	475.77	418	597.45
314	137.06	349	373.93	384	18341.07	419	331.52
315	12421.09	350	1009.42	385	464.53	420	915.31

Continua…

ANEXO A.4: Tabla Atributo- Área cubierta por maleza acuática sana para el año 2016 generada por el método de teledetección en el software libre QGIS.

(Continuación)

id	Área	Id	Área	Id	Área	id	Área
404	137.06	439	373.93	474	18341.07	509	331.52
405	12421.09	440	1009.42	475	464.53	510	915.31
406	1493.55	441	250073.12	476	2431.47	511	30761.81
407	2542431.99	442	7601.06	477	3413.01	512	37591.33
408	247.98	443	1225.57	478	1024.85	513	159.57
409	100041.68	444	581.56	479	1415.14	514	32209.38
410	74074.71	445	1497.22	480	263.89	515	61515.85
411	576.36	446	752.67	481	2086.21	516	4511.62
412	43319.26	447	242.07	482	46.01	517	50291.53
413	29.92	448	652.82	483	37.93	518	3262.93
414	533.37	449	5887.03	484	108.39	519	151.30
415	1453.63	450	942.81	485	5861.62	520	336.04
416	23.13	451	211.83	486	942.33	521	10135.37
417	147.50	452	2670.63	487	6441.80	522	998.97
418	222614.19	453	15611.80	488	1903.39	523	71044.34
419	206.55	454	1423.16	489	1256.03	524	1560.19
420	167.81	455	1755.51	490	7784.40	525	20740.50
421	296.42	456	70.72	491	436466.92	526	1233.58
422	14397.37	457	20494.22	492	60520.01	527	4673.73
423	730.01	458	2464.43	493	65.45	528	16932.17
424	37.06	459	2175.87	494	70.69	529	30.32
425	1650.92	460	2.82	495	2938.84	530	51638.84
426	7287.01	461	3433.97	496	71.99	531	2487.94
427	90.60	462	5454.35	497	567.35	532	1936.18
428	52.58	463	18.16	498	2959.34	533	15194.44
429	340.47	464	2337.74	499	4273.16	534	33341.43
430	132.91	465	6050.08	500	23.40	535	80102.59
431	8546.00	466	2088.64	501	2.45	536	6155.97
432	7537.64	467	24110.14	502	129024.17	537	2806.08
433	791.16	468	7755.48	503	9645.90	538	1668.12
434	2568.65	469	26366.21	504	88.75	539	14929.73
435	434.83	470	4202.35	505	3587.31	540	128.61

Continua…

ANEXO A.4: Tabla Atributo- Área cubierta por maleza acuática sana para el año 2016 generada por el método de teledetección en el software libre QGIS.

(Continuación)

Id	Área	Id	Área	Id	Área	Id	Área
421	1493.55	456	250073.12	491	2431.47	526	30761.81
422	2542432	457	7601.06	492	3413.01	527	37591.33
423	247.98	458	1225.57	493	1024.85	528	159.57
424	100041.68	459	581.56	494	1415.14	529	32209.38
425	74074.71	460	1497.22	495	263.89	530	61515.85
426	576.36	461	752.67	496	2086.21	531	4511.62
427	43319.26	462	242.07	497	46.01	532	50291.53
428	29.92	463	652.82	498	37.93	533	3262.93
429	533.37	464	5887.03	499	108.39	534	151.3
430	1453.63	465	942.81	500	5861.62	535	336.04
431	23.13	466	211.83	501	942.33	536	10135.37
432	147.5	467	2670.63	502	6441.8	537	998.97
433	222614.19	468	15611.8	503	1903.39	538	71044.34
434	206.55	469	1423.16	504	1256.03	539	1560.19
435	167.81	470	1755.51	505	7784.4	540	20740.5
436	296.42	471	70.72	506	436466.92	541	1233.58
437	14397.37	472	20494.22	507	60520.01	542	4673.73
438	730.01	473	2464.43	508	65.45	543	16932.17
439	37.06	474	2175.87	509	70.69	544	30.32
440	1650.92	475	2.82	510	2938.84	545	51638.84
441	7287.01	476	3433.97	511	71.99	546	2487.94
442	90.6	477	5454.35	512	567.35	547	1936.18
443	52.58	478	18.16	513	2959.34	548	15194.44
444	340.47	479	2337.74	514	4273.16	549	33341.43
445	132.91	480	6050.08	515	23.4	550	80102.59
446	8546	481	2088.64	516	2.45	551	6155.97
447	7537.64	482	24110.14	517	129024.17	552	2806.08
448	791.16	483	7755.48	518	9645.9	553	1668.12
449	2568.65	484	26366.21	519	88.75	554	14929.73
450	434.83	485	4202.35	520	3587.31	555	128.61
451	4832.86	486	8301.86	521	1651.38	556	1376.18
452	11612.62	487	884.67	522	14.39	557	211.04
453	3799.48	488	122.59	523	311.15	558	1904.54
454	314.74	489	17380.91	524	417.73	559	230.3
455	1186.19	490	58.17	525	4981.19	560	13510.88

Continua…

ANEXO A.4: Tabla Atributo- Área cubierta por maleza acuática sana para el año 2016 generada por el método de teledetección en el software libre QGIS.

(Continuación)

Id	Área	Id	Área	Id	Área	Id	Área
561	5031.01	591	623.9	621	307.81	651	4529.63
562	7167.03	592	10883.33	622	353.99	652	7183.99
563	113394.17	593	12990.03	623	4459.49	653	3181.48
564	7504.16	594	4174.86	624	800.59	654	2286.85
565	95759.69	595	41	625	1891.64	655	439.2
566	78215.51	596	3.59	626	9228.61	656	18.59
567	45782.24	597	6972.98	627	1728.4	657	1441.34
568	5184.25	598	358.58	628	1317.74	658	301.32
569	158.84	599	89.08	629	935.09	659	3964.32
570	4418.1	600	4201.74	630	5791.98	660	1521.68
571	9293.2	601	371.98	631	238.45	661	6162.47
572	223.65	602	8309.81	632	2235.36	662	12350.53
573	4595.5	603	1465.03	633	1493.84	663	6821.92
574	25620.42	604	38083.12	634	7631.02	664	5769.42
575	504.62	605	1784	635	445.65	665	4083.43
576	2792.09	606	322.27	636	94.3	666	3053.44
577	2062.35	607	10648.7	637	173.22	667	16677.62
578	4344.09	608	524.72	638	12.61	668	329.36
579	465.54	609	4271.84	639	10186.72	669	2438.33
580	1038.37	610	598.38	640	62.15	670	705.95
581	1242.13	611	423.29	641	169.5	671	43.94
582	2203.62	612	15545.99	642	193.93	672	4756.34
583	109.06	613	363.76	643	23500.08	673	66.75
584	51370.61	614	2629.69	644	282.3	674	9.27
585	149.23	615	3514.29	645	179.14	675	5.54
586	3445.49	616	4188.11	646	223.11	676	4156.2
587	28277.44	617	48.17	647	312.08	677	3398.96
588	481.04	618	46.71	648	219.14	678	2540.98
589	230.68	619	1425.78	649	522.18	679	348.09
590	157254.36	620	160.02	650	1547.5	680	3513.02

ANEXO A.5: Tabla Atributo - Área cubierta por agua para el año 2018 generada por el método de teledetección en el software libre QGIS.

Id	Área	Id	Área	Id	Área	Id	Área
1	10996.87	36	6937	71	480.57	106	2038.57
2	9973.75	37	68.4	72	48.31	107	3799.93
3	2597.18	38	6722.92	73	47829.71	108	37948.55
4	1965.97	39	645.88	74	47.89	109	43785.34
5	9624.84	40	6428.06	75	4696847.6	110	37662.81
6	9601.43	41	642360.39	76	4696.4	111	375.1
7	936.42	42	64.94	77	465.04	112	3746832.2
8	1093.18	43	625.86	78	4621.87	113	36945.01
9	896104	44	619.06	79	4572.71	114	365.79
10	893.09	45	6144.04	80	456.34	115	365.39
11	88485.82	46	61168.96	81	4532.01	116	3592.11
12	45787.57	47	590.49	82	45.31	117	3547.24
13	868.92	48	578.04	83	44587.92	118	352.77
14	868.15	49	574.43	84	444202.75	119	352.24
15	863.15	50	57079.13	85	4433659.6	120	35.6
16	85242.73	51	568.53	86	441.36	121	339.76
17	23837.8	52	5564.23	87	4334.82	122	3377.36
18	819.58	53	54538.39	88	43175.82	123	33210.06
19	44786.88	54	538697.73	89	4223.72	124	3314.67
20	777.92	55	537.79	90	416.24	125	32077705
21	8377.49	56	535866.97	91	408.46	126	3171.2
22	765.79	57	5354757.1	92	404.85	127	3145.89
23	759879.16	58	532.74	93	4.91	128	3084.61
24	7507.96	59	531.8	94	4.79	129	308.12
25	4575.42	60	5278.25	95	393029.91	130	30563.81
26	2972.7	61	51.82	96	391.26	131	2991.03
27	709.99	62	5099.47	97	3906.48	132	29861.47
28	7008.84	63	505.97	98	386.65	133	297.21
29	7.31	64	493.37	99	38421.36	134	296.85
30	696116.39	65	485.73	100	3839.21	135	2921.26
31	29051.487	66	209.12	101	14212.007	136	111.562
32	285.2	67	20567.058	102	141.714	137	106.109
33	284.745	68	2.417	103	1402.269	138	10597.845
34	28264.443	69	199589.42	104	13540.209	139	1052.811
35	2811.295	70	197.449	105	13500.961	140	1052

Continua…

ANEXO A.5: Tabla Atributo - Área cubierta por agua para el año 2018 generada por el método de teledetección en el software libre QGIS.

(Continuación)

Id	Área	Id	Área	Id	Área	Id	Área
141	2766.03	162	19430.769	183	135.017	204	1043.697
142	27543.969	163	19178.823	184	134.717	205	10424.078
143	272.366	164	19009.857	185	13351.459	206	10302.685
144	2697.819	165	1893.03	186	1320.363	207	101644.72
145	268920.33	166	1736.404	187	12974.871	208	1014.931
146	2675330.9	167	17242.152	188	129.144	209	1012.87
147	2663.097	168	16948.027	189	1267.724	210	1410.142
148	261.813	169	1652.088	190	1254.314	211	170.856
149	260176.43	170	165.363	191	12263.584	212	1121.175
150	253834.98	171	15883.168	192	12215.006	213	112.243
151	247.408	172	15841.944	193	12150.714	214	11161.434
152	24329.257	173	15804.846	194	12054.043	215	145.333
153	2430.731	174	157.282	195	12049.222	216	1444.277
154	235.563	175	15576.822	196	12.001	217	142207.37
155	2333.577	176	1543.046	197	11937.719	218	2147.163
156	22681.069	177	15124856	198	1187.727	219	21444.55
157	221.71	178	15.259	199	1166.291	220	211.646
158	221.388	179	1492.768	200	116.153	221	1125804.4
159	221.358	180	149.621	201	115434.11	222	146.279
160	217.473	181	1469.405	202	115.94	223	215.191
161	2153423.6	182	146.994	203	11398.705		

ANEXO A.6: Tabla Atributo - Área cubierta por maleza acuática sana para el año 2018 generada por el método de teledetección en el software libre QGIS.

Id	Área	Id	Área	Id	Área	Id	Área
1	7239.92	36	34533.82	71	3231275.4	106	29131.34
2	3128.73	37	4583.63	72	39061.07	107	177.59
3	1148.36	38	5993.87	73	635.87	108	478.34
4	10826.26	39	13123.01	74	13474.01	109	1451.62
5	3012.18	40	558.98	75	1173.64	110	5.21
6	6107.59	41	5001.37	76	6950.77	111	3269.35
7	689.19	42	930.9	77	806666.72	112	79.05
8	5142.07	43	10585.03	78	5117.43	113	10108.3
9	1401.99	44	1785.03	79	176.42	114	185.35
10	1274.25	45	23141.31	80	1407.71	115	283.53
11	268.95	46	12938.65	81	3687.91	116	450.84
12	1019.94	47	4319.23	82	14.94	117	257.83
13	270.3	48	4123.93	83	13987.39	118	147.51
14	275.1	49	355.67	84	920.99	119	4671.18
15	10271.02	50	8277.77	85	1982.64	120	21170.07
16	1598.68	51	1886.53	86	2550.53	121	22773.43
17	1462.49	52	15410.39	87	275	122	4943.56
18	6925.91	53	355.77	88	352.64	123	4267.42
19	3888	54	68800.02	89	277.39	124	29172.5
20	748.95	55	1589.31	90	447.88	125	9644.37
21	1987.98	56	10320.1	91	41.64	126	13.91
22	293.15	57	5146.64	92	3163.06	127	540.71
23	10859.66	58	4736.88	93	2289.86	128	5.47
24	299.73	59	130.83	94	89.7	129	11518.76
25	212.69	60	8960.93	95	836.43	130	4121.63
26	6704.58	61	20022.37	96	93.47	131	1553.61
27	419.83	62	45261.85	97	56.18	132	2085.76
28	720.69	63	2074388.6	98	8751.63	133	275.75
29	1535.49	64	1042.74	99	801.2	134	13571.3
30	2641.66	65	411.55	100	7767.35	135	458.21
31	38926.83	66	18.95	101	7673.23	136	508.9
32	25771.64	67	34.42	102	19751.26	137	52.59
33	14058.63	68	1043.7	103	2680.98	138	63659.55
34	15448.86	69	307.2	104	19603.29	139	16122.56
35	2814.19	70	1041.44	105	1130.12	140	1641.99

Continua…

ANEXO A.6: Tabla Atributo - Área cubierta por maleza acuática sana para el año 2018 generada por el método de teledetección en el software libre QGIS.

(Continuación)

Id	Área	Id	Área	Id	Área	Id	Área
141	2454.98	176	98.05	211	10.03	246	1562.26
142	7895.34	177	3121.1	212	1328.89	247	380.86
143	3896.48	178	495.53	213	16761.7	248	79093.3
144	271.91	179	1097.94	214	194.2	249	108.63
145	681.96	180	2909.64	215	151.19	250	60740.39
146	5127.24	181	39947.76	216	602.54	251	6700.24
147	27.68	182	11366.22	217	26.56	252	11.75
148	94.1	183	1240.43	218	3284.12	253	35.3
149	212.31	184	23388.76	219	798.77	254	14572.9
150	486.1	185	294.48	220	114.51	255	5.46
151	516.57	186	10846.38	221	29.55	256	10389.46
152	1357.25	187	295.42	222	411.25	257	12497.75
153	828.32	188	2197.19	223	212.49	258	33.81
154	3714.72	189	2199.73	224	6087.61	259	3806.28
155	563.48	190	107.16	225	3952.34	260	636.49
156	371.95	191	152.4	226	10523.05	261	629.18
157	562.53	192	1394.98	227	6770.97	262	27.47
158	1121.87	193	2206.38	228	3081.99	263	3567.38
159	51.37	194	765.92	229	1820.3	264	36.34
160	55.87	195	3298.3	230	640.05	265	147.29
161	110.9	196	633.58	231	6715.08	266	16.65
162	0.06	197	4496.95	232	11698.91	267	530.46
163	121.84	198	45.44	233	26320.17	268	165.08
164	31.97	199	486.77	234	156.51	269	255.57
165	252.02	200	165.3	235	3373.43	270	295.57
166	2248.7	201	575.12	236	6551.26	271	146.37
167	731.48	202	380.53	237	15212.89	272	28.34
168	2514.98	203	1459.92	238	9744.47	273	85.68
169	1018.09	204	148.43	239	67973.25	274	5673.42
170	671.47	205	277.29	240	6799.67	275	2948.32
171	70.79	206	221.16	241	25.67	276	651.5
172	2691.9	207	116	242	73776.47	277	6947.94
173	52.36	208	32587.65	243	247.08	278	157
174	16435.63	209	255.78	244	1742.52	279	1.89
175	4206.35	210	1054.85	245	3034.8	280	77.71

Continua…

ANEXO A.6: Tabla Atributo - Área cubierta por maleza acuática sana para el año 2018 generada por el método de teledetección en el software libre QGIS.

(Continuación)

Id	Área	Id	Área	Id	Área	Id	Área
281	6073.18	316	272.62	351	237.7	386	1.21
282	56360.35	317	24902.1	352	177.19	387	8992.02
283	665.96	318	4459.8	353	693.81	388	7518.88
284	3405.41	319	152125.32	354	499.81	389	3.84
285	171.21	320	33411.9	355	1397.02	390	30597.86
286	6981.18	321	5676.74	356	982.77	391	6714.38
287	10.33	322	2088.76	357	128.8	392	2415.87
288	39.7	323	8849.73	358	3118.77	393	1.6
289	13.39	324	768.55	359	844.76	394	18163.62
290	64.95	325	1034.43	360	10019.63	395	141.89
291	61.48	326	7500.72	361	397.79	396	4839.45
292	8993.97	327	451.7	362	51583.83	397	1347.77
293	28.1	328	1903.85	363	75.86	398	351.52
294	3058.54	329	344.5	364	106.05	399	3681.54
295	152732.27	330	152.61	365	53.11	400	4836.28
296	1323.38	331	2435.87	366	8091.26	401	1255.66
297	11220.34	332	1433.98	367	391.91	402	3.35
298	12381.97	333	369.87	368	714.68	403	163.67
299	2303.22	334	4550.4	369	2.36	404	32.88
300	2258.43	335	7005.13	370	320.82	405	1201.23
301	71939.02	336	804.31	371	1536.49	406	19259.68
302	8.81	337	9466.84	372	1066.33	407	126.04
303	1002.22	338	1086471.2	373	126437.19	408	959.03
304	2112.87	339	2275.61	374	24809.74	409	110.3
305	78.82	340	361.01	375	13806.6	410	339.6
306	16.26	341	318.72	376	15058.37	411	197.03
307	87.64	342	123914.74	377	6636.64	412	3833.98
308	5899.04	343	105.26	378	227.65	413	498.96
309	29.73	344	212.05	379	99.23	414	976.04
310	13.32	345	22038.37	380	1122.79	415	1058.55
311	60.64	346	171.94	381	949.54	416	2068.85
312	9908.05	347	107.78	382	20099.09	417	330.35
313	26.21	348	372.77	383	2209.78	418	342.86
314	294.85	349	338.77	384	47125.36	419	3160.52
315	146	350	1039.93	385	218.37	420	6823.35

Continua…

ANEXO A.6: Tabla Atributo - Área cubierta por maleza acuática sana para el año 2018 generada por el método de teledetección en el software libre QGIS.

(Continuación)

Id	Área	Id	Área	Id	Área	Id	Área
421	14421.88	456	38.79	491	13426.42	526	471.86
422	205.31	457	163.68	492	521.73	527	6215.66
423	4541.01	458	0.09	493	217.31	528	29.27
424	644.73	459	40243.39	494	1824.48	529	172.26
425	3953.55	460	27444.52	495	164.75	530	0.06
426	12419.36	461	961.87	496	12.45	531	18914.69
427	401.57	462	19409.58	497	34.33	532	854.08
428	1607.03	463	42606.37	498	31.64	533	256.39
429	167.63	464	167.74	499	251.5	534	1134.76
430	2565.85	465	834.1	500	544.99	535	115.38
431	202.97	466	2490.1	501	974.31	536	993.03
432	361.79	467	4.14	502	2301.8	537	72.94
433	3822.78	468	4372.02	503	39.15	538	103.31
434	2704.05	469	108258.39	504	4891.58	539	374.76
435	27.6	470	565.69	505	5108.55	540	690.94
436	7.37	471	2928.34	506	448.02	541	164.34
437	121.41	472	1173.42	507	218.29	542	811.44
438	21.78	473	15419.34	508	54.94	543	237.91
439	24.77	474	1017.36	509	581.13	544	5234.17
440	11945.85	475	14805.7	510	3705.13	545	18000.82
441	742.34	476	191.32	511	623.77	546	2867.08
442	2181.07	477	739.92	512	546.33	547	7794.07
443	5072.57	478	55425.92	513	1361.33	548	261.68
444	1795.56	479	238.31	514	2951.19	549	32901.93
445	1541.5	480	15145.65	515	8913.33	550	40065.47
446	2308.49	481	46.89	516	436.07	551	29699.87
447	1061.91	482	107.41	517	4261.03	552	5344.02
448	2108.76	483	13152	518	28.07	553	3764.12
449	497.84	484	202.26	519	489.73	554	14.3
450	1626.18	485	2516.23	520	530.94	555	5933.01
451	727.18	486	269.2	521	833.09	556	1727.22
452	230.22	487	16045.78	522	461.38	557	42691.32
453	269.76	488	5745.83	523	838.61	558	5883.46
454	4127.37	489	16086.46	524	70.27	559	74669.72
455	8835.92	490	16131.93	525	60.64	560	2372.73

Continua…

ANEXO A.6: Tabla Atributo - Área cubierta por maleza acuática sana para el año 2018 generada por el método de teledetección en el software libre QGIS.

(Continuación)

Id	Área	Id	Área	Id	Área	Id	Área
561	225.34	596	28.33	631	1508.64	666	1762.92
562	54.03	597	892.23	632	3382.33	667	437.13
563	11.21	598	150.33	633	163.19	668	13871.18
564	767.84	599	3778.38	634	43864.59	669	1053.96
565	1506.12	600	1043.94	635	104.98	670	778.44
566	5.17	601	1971.46	636	23087.79	671	22863.65
567	9601.23	602	2	637	406.74	672	12114.41
568	248.3	603	2472.09	638	4540.8	673	405.37
569	308.48	604	279.18	639	434.82	674	134.37
570	720.6	605	724.99	640	59336.62	675	410.34
571	276.83	606	2976.18	641	253.77	676	2922.27
572	5002.98	607	4805.18	642	329.06	677	138.08
573	168.45	608	1066.73	643	632.18	678	733.73
574	11428.02	609	894.68	644	2801.2	679	7805.38
575	276.06	610	2406.67	645	3010.44	680	1792.92
576	1146.98	611	6641.07	646	483.18	681	42040.95
577	467.8	612	4514.62	647	3928.99	682	47.73
578	140.47	613	8089.8	648	1408.22	683	9.4
579	1649.59	614	7156.89	649	1466.67	684	83.52
580	533.9	615	2515.79	650	1164.34	685	19651.61
581	166.34	616	6747.58	651	12980.44	686	137.43
582	7802.62	617	1259.33	652	60	687	647.97
583	116.03	618	1285.11	653	6946.11	688	1309.05
584	3102.26	619	6138.17	654	780.9	689	5701.69
585	15391.92	620	27080.13	655	693.4	690	21130.17
586	8499.07	621	1832.92	656	13.51	691	2342.79
587	579.56	622	557.16	657	1922.05	692	5839.4
588	2582	623	6532.65	658	9762.85	693	756.96
589	266.92	624	24066.48	659	18237.3	694	74.96
590	267.99	625	18086.04	660	12280.24	695	688.64
591	374.29	626	65998.2	661	2580.48	696	1831.87
592	38547.59	627	283.04	662	2127.52	697	265.47
593	108.99	628	439.61	663	451.22	698	19021.76
594	169.87	629	984.77	664	363.36	699	43.94
595	3100.42	630	162.17	665	849.25	700	2832.4

Continua…

ANEXO A.6: Tabla Atributo - Área cubierta por maleza acuática sana para el año 2018 generada por el método de teledetección en el software libre QGIS.

(Continuación)

Id	Área	Id	Área	Id	Área	Id	Área
701	1249.41	736	171.81	771	56.12	806	6404.91
702	35.16	737	2748.16	772	8955.52	807	1631.02
703	2360.86	738	300.9	773	3047.41	808	488.77
704	11054.96	739	1700.64	774	691.42	809	42.93
705	20924.68	740	622.53	775	263.04	810	84.28
706	45121.31	741	245.76	776	34.06	811	7322.01
707	309.23	742	1639.87	777	2.9	812	9132.66
708	11477.1	743	2409.22	778	133.31	813	1392.2
709	869.58	744	493.52	779	688.62	814	37229.85
710	208423.75	745	809.99	780	5533.25	815	75.59
711	13617.49	746	3022.08	781	459.7	816	6444.53
712	762.98	747	912.43	782	1932.54	817	2349.9
713	14423.07	748	43.91	783	14594.66	818	1455.59
714	632.32	749	1567.81	784	493.2	819	612.22
715	711.07	750	1195.18	785	28.03	820	1696.28
716	91.76	751	6946.86	786	13368.03	821	3536.68
717	5274.08	752	5396.97	787	1714.73	822	1345.74
718	31.46	753	4044.74	788	2854.49	823	3140.45
719	419.33	754	166.31	789	509.97	824	38.83
720	1358.93	755	5123.15	790	14890.34	825	87.66
721	12120.47	756	1686.81	791	426.63	826	1639.9
722	1869.53	757	3.14	792	74875.7	827	145.52
723	2242.45	758	4928.14	793	29928.95	828	617.37
724	15125.1	759	698.71	794	12519.02	829	2519.59
725	1122.53	760	1130.39	795	172.2	830	2851.87
726	19115.27	761	8226.6	796	6421.46	831	1814.14
727	2029.24	762	34.02	797	157.7	832	717.93
728	20563.74	763	1094.71	798	2317.46	833	1253.26
729	295.92	764	6193.89	799	5.94	834	2537.9
730	439.78	765	4290.74	800	6.54	835	496.01
731	1448.89	766	359.77	801	1714.33	836	23.86
732	4449.87	767	92.41	802	28615.14	837	2748.88
733	1611.54	768	517.88	803	37.25	838	250.89
734	984.22	769	526.12	804	283.92	839	8461.58
735	1414.76	770	2	805	5928.59	840	13392.39

Continua…

ANEXO A.6: Tabla Atributo - Área cubierta por maleza acuática sana para el año 2018 generada por el método de teledetección en el software libre QGIS.

(Continuación)

Id	Área	Id	Área	Id	Área	Id	Área
841	10.54	876	8392.73	911	246.05	946	29.05
842	81.66	877	36.27	912	420.21	947	180.91
843	136.4	878	66.74	913	274.08	948	1324.52
844	6938.47	879	71.74	914	4386.48	949	20.8
845	57.01	880	1719.68	915	1479.42	950	755.88
846	136.32	881	911.2	916	10879.31	951	3424.71
847	195.56	882	10.95	917	712.59	952	3731.52
848	825.18	883	54700.8	918	7018.77	953	2701.56
849	75.63	884	2413.02	919	2752.1	954	520.27
850	2.53	885	92.6	920	0.3	955	478.74
851	85.37	886	498.12	921	3715.78	956	704.38
852	3.42	887	9764.62	922	17598.6	957	2297.04
853	16895.16	888	192.14	923	7593.52	958	34525.18
854	30.01	889	730.67	924	37657.3	959	316.94
855	231.52	890	4207.94	925	40.57	960	919.5
856	252.42	891	717.44	926	389.51	961	10864.11
857	1263.9	892	25.24	927	3160.07	962	9184
858	162.6	893	29240.69	928	2077.06	963	921.48
859	3852.91	894	372.76	929	411.68	964	610.6
860	3181.73	895	2233.3	930	243.25	965	54.67
861	994.28	896	485.35	931	7633.24	966	218.81
862	240.66	897	4454.1	932	534.41	967	2579.55
863	92.84	898	33488.54	933	7145.77	968	1359.12
864	1759.21	899	3668.26	934	238.22	969	2696.67
865	278.5	900	815.18	935	194.5	970	9019.21
866	105.67	901	1984.95	936	30030.49	971	44.75
867	718.59	902	5908.6	937	154.46	972	94398.21
868	551.82	903	1356.24	938	969.16	973	28.39
869	375.61	904	53.57	939	37871.82	974	36.64
870	793.96	905	2427.82	940	4341.24	975	6527.66
871	2100.06	906	18049.5	941	1785.93	976	4313.29
872	651.47	907	55.8	942	64758.51	977	1439.22
873	371.16	908	454.66	943	45699	978	259.48
874	162.13	909	267.99	944	454.52	979	2366.57
875	19780.91	910	1276.48	945	23687.16	980	5123.61

Continua…

ANEXO A.6: Tabla Atributo - Área cubierta por maleza acuática sana para el año 2018 generada por el método de teledetección en el software libre QGIS.

(Continuación)

Id	Área	Id	Área	Id	Área	Id	Área
981	31875.28	1016	4857.29	1051	4876.39	1086	2003.13
982	3159.54	1017	350.3	1052	3506.71	1087	1959.84
983	357.85	1018	45964.78	1053	65.01	1088	1742.57
984	797.23	1019	152.58	1054	90264.83	1089	3963.11
985	18930.69	1020	335.9	1055	563.84	1090	3152.54
986	10835.05	1021	38.88	1056	16049.73	1091	9886.9
987	128.53	1022	10842.5	1057	24.31	1092	7943.27
988	368.62	1023	1082.7	1058	1187.18	1093	124.62
989	2885.98	1024	8383.55	1059	516.31	1094	18383.52
990	1209.6	1025	281.36	1060	20.99	1095	2890.75
991	3968	1026	20436.01	1061	2907.23	1096	941.25
992	1787.01	1027	3336.39	1062	1.82	1097	4985.38
993	9112.97	1028	396.51	1063	6019.03	1098	1812.93
994	955.61	1029	1781.04	1064	1012.67	1099	1825.1
995	4168.26	1030	2102.22	1065	47.32	1100	5716.93
996	5.91	1031	866.02	1066	122.62	1101	516.39
997	1358.88	1032	71112.52	1067	12.43	1102	76.36
998	1008.05	1033	3.43	1068	2267.99	1103	679.22
999	764.19	1034	41839.5	1069	4182.76	1104	71.13
1000	1104.76	1035	8959.24	1070	45.09	1105	630.72
1001	6454.98	1036	1046.83	1071	47.4	1106	18.47
1002	885.65	1037	16786.31	1072	577.51	1107	354.37
1003	296.69	1038	29.77	1073	1463.8	1108	740.69
1004	3442.59	1039	32073.26	1074	474.06	1109	1112.12
1005	4690.3	1040	2706.82	1075	649.94	1110	11371.1
1006	2650.57	1041	255.84	1076	1896.37	1111	89.95
1007	1586.32	1042	1244.68	1077	339786.97	1112	4839.98
1008	12085.1	1043	12789.29	1078	9426.82	1113	96027.64
1009	2454.31	1044	17690.11	1079	1785.85	1114	1183.93
1010	852.72	1045	334.67	1080	1300.63	1115	716.94
1011	311.07	1046	10.58	1081	1405.77	1116	1013.55
1012	4.08	1047	3129.73	1082	951.02	1117	348.51
1013	52308.11	1048	241.47	1083	42332.98	1118	2609.15
1014	128.26	1049	4219.2	1084	7161.62	1119	1301.42
1015	19791.85	1050	6014.52	1085	649.58	1120	6.97

Continua…

ANEXO A.6: Tabla Atributo - Área cubierta por maleza acuática sana para el año 2018 generada por el método de teledetección en el software libre QGIS.

(Continuación)

Id	Área	Id	Área	Id	Área	Id	Área
1121	11.21	1146	3369.78	1171	15705.73	1196	1470.75
1122	220.51	1147	1001.17	1172	0.34	1197	1422.58
1123	4344.22	1148	10793.31	1173	1356.49	1198	7505.48
1124	4156.29	1149	500.95	1174	197.38	1199	867
1125	7186.7	1150	1797.27	1175	1.14	1200	62154.69
1126	10.72	1151	174.41	1176	22.37	1201	114570.17
1127	1963.85	1152	701.07	1177	194.38	1202	433.52
1128	4940.36	1153	433.32	1178	33.8	1203	0.02
1129	126.8	1154	408.71	1179	1525.38	1204	389.46
1130	566.45	1155	16879.78	1180	421.06	1205	3015.71
1131	697.24	1156	157.07	1181	20590.05	1206	103.36
1132	5575.64	1157	239.82	1182	2724.79	1207	245.14
1133	7.45	1158	1247.72	1183	41823.94	1208	4113.22
1134	48148.43	1159	9.91	1184	2632.88	1209	4490.1
1135	1462.52	1160	663.99	1185	77.66	1210	9614.9
1136	34.65	1161	288256.8	1186	200.98	1211	9774.44
1137	45907.52	1162	84161.12	1187	459.69	1212	490486.89
1138	309.3	1163	730.86	1188	7.36	1213	1288.36
1139	542.33	1164	2039.9	1189	574.34	1214	1359.92
1140	804.36	1165	5.54	1190	2067.12	1215	421.61
1141	8642.14	1166	1027.39	1191	1438.96	1216	144.98
1142	1938.79	1167	130.82	1192	619.21	1217	1.41
1143	1670.36	1168	23905.63	1193	50.95	1218	120.08
1144	18663.99	1169	10.2	1194	930.5		
1145	115866.81	1170	12564.16	1195	1116.83		

ANEXO A.7: Tabla Atributo - Área cubierta por agua para el año 2020 generada por el método de teledetección en el software libre QGIS.

Id	Área	Id	Área	Id	Área	Id	Área
1	3257435.2	36	248.21	71	562.46	106	18.09
2	7883.4	37	780.44	72	299.76	107	64.61
3	372.48	38	5043.46	73	147.91	108	40305.1
4	67579.93	39	1308.93	74	18069.82	109	3965.6
5	249763.95	40	38214.29	75	6491.44	110	4687.52
6	11813.39	41	968.97	76	1787784.7	111	806.01
7	456.87	42	2083.66	77	519.56	112	1230.37
8	53403.87	43	148.69	78	413.05	113	240.11
9	974.34	44	114789.83	79	48.8	114	2075.64
10	24.46	45	6389.38	80	102.24	115	1621.28
11	130.63	46	107194.04	81	27.36	116	10.55
12	9286.67	47	240.03	82	4696.96	117	11.3
13	32319.76	48	4878.37	83	614.76	118	134.67
14	11368.87	49	8549.88	84	1074.68	119	278.21
15	30261.58	50	1844.97	85	801.54	120	223.5
16	11.22	51	13997.6	86	419.29	121	3350.75
17	111.2	52	2539.64	87	548.56	122	1858.2
18	56.24	53	297.02	88	321.54	123	6266.15
19	539.37	54	789.35	89	3641.86	124	456.64
20	443.1	55	445.63	90	4563.8	125	41.91
21	21944.6	56	1108.1	91	150.6	126	150.54
22	11018.91	57	35288.02	92	110.35	127	5375.33
23	1294.63	58	8496.69	93	118616.17	128	375.01
24	22.23	59	1307.85	94	31412218	129	2283.45
25	4056.72	60	75162.85	95	640.55	130	2044.36
26	4.93	61	141.37	96	184.96	131	26349.82
27	44817.09	62	569.62	97	627.46	132	30268.8
28	12806.87	63	1994.54	98	273.17	133	82.06
29	399418.4	64	1385.21	99	849.99	134	852.41
30	871229.34	65	1586.14	100	1769.59	135	4861.67
31	3179.88	66	2707.2	101	5022.96	136	257.2
32	2958.71	67	595028.19	102	335.91	137	80.66
33	3263.22	68	1638.35	103	8069.41	138	15993.84
34	10063.05	69	12850.81	104	84.22	139	189.49
35	334.51	70	14024.39	105	32754.63	140	112.7

Continua…

ANEXO A.7: Tabla Atributo - Área cubierta por agua para el año 2020 generada por el método de teledetección en el software libre QGIS.

(Continuación)

Id	Área	Id	Área	Id	Área	Id	Área
141	1147.38	167	1035.3	193	14.24	219	1648.44
142	29339.97	168	278.02	194	1079.36	220	2941.95
143	171.92	169	11367.83	195	281.56	221	3081.46
144	1231.61	170	6906.08	196	402.74	222	71.5
145	9814.15	171	23146.24	197	88.58	223	1389.87
146	3394.09	172	959576.47	198	83.92	224	24364.21
147	1005.55	173	2093.11	199	874921.57	225	48.61
148	399.37	174	1218.52	200	16979.97	226	43.7
149	331.79	175	452.12	201	310.19	227	20.27
150	239.42	176	2109.85	202	3313.94	228	35041.87
151	2103.98	177	53809.78	203	3767.43	229	341.35
152	754.6	178	193.84	204	1099.34	230	391.17
153	1655.17	179	285373.27	205	123.29	231	257.29
154	5955.7	180	9.42	206	57587.33	232	405.23
155	27606.19	181	9438136.9	207	2118.46	233	8059.61
156	681.68	182	676.72	208	1037.68	234	1222.93
157	445.26	183	1863.47	209	72.36	235	171.63
158	12399.66	184	29.75	210	317.43	236	10955.44
159	7006.56	185	17241.61	211	4403.41	237	319.53
160	350.4	186	10219.19	212	1587.54	238	56.5
161	861.99	187	5817.58	213	1282.13	239	250.5
162	7850.57	188	2812.89	214	12151765	240	1768.61
163	15615.86	189	612.25	215	7033751.7	241	20943.06
164	414379.49	190	52.24	216	633.22	242	1270.19
165	14421.88	191	5563.4	217	375.36	243	97939.02
166	2797.79	192	113.99	218	21.11		

ANEXO A.8: Tabla Atributo - Área cubierta por maleza acuática sana para el año 2020 generada por el método de teledetección en el software libre QGIS.

Id	Área	Id	Área	Id	Área	Id	Área
1	225.6	36	577.32	71	539.39	106	28951.4
2	179.03	37	57931.5	72	15202.94	107	1583.28
3	595712.57	38	3760.97	73	80830.94	108	8.79
4	12830.49	39	11374.89	74	6039.48	109	10200.86
5	0.6	40	156590.51	75	18873.53	110	671.11
6	9550.96	41	20.11	76	127804.97	111	27694.14
7	1926.42	42	11319.87	77	32.01	112	287568.23
8	19514.81	43	11282.39	78	153.14	113	57041.27
9	10884.3	44	1999.49	79	911.2	114	28366.66
10	1143.3	45	81.94	80	441.63	115	4087.98
11	0.38	46	880.07	81	347389.99	116	52172.84
12	38167.8	47	9719.27	82	257.43	117	129122.54
13	225.51	48	226.22	83	7366.63	118	426.57
14	26.31	49	39.48	84	83.73	119	11525
15	566.11	50	2232.84	85	119.8	120	3733.81
16	566.79	51	799.8	86	2117.62	121	36596.37
17	32.05	52	709901.52	87	54.12	122	74.8
18	3004.64	53	284.41	88	2555.83	123	286.43
19	682.39	54	22.36	89	262.61	124	1170.51
20	210719.96	55	295.7	90	848.76	125	306.96
21	7006.63	56	15094.4	91	884.77	126	129802.08
22	8164.71	57	1209.76	92	10015.83	127	57.72
23	19983.65	58	355.74	93	7148.04	128	3526.33
24	10615.87	59	173.45	94	64.26	129	109.83
25	21119.45	60	4406.71	95	439.76	130	5635.63
26	12470.25	61	3156.44	96	3023.76	131	76291.28
27	17249.22	62	8674.69	97	1908.64	132	2827.33
28	10.32	63	4549.1	98	12362.74	133	508.53
29	12.6	64	662966.07	99	89179.63	134	13092.84
30	19297.76	65	18740.26	100	45.22	135	7269.18
31	213.42	66	1548.17	101	3221.93	136	7568.96
32	841.19	67	347.95	102	255.45	137	33.01
33	61.99	68	1293.81	103	54180.12	138	26.21
34	16067.06	69	1049.45	104	685.48	139	10.38
35	64.95	70	119.78	105	246.98	140	49.89

Continua…

ANEXO A.8: Tabla Atributo - Área cubierta por maleza acuática sana para el año 2020 generada por el método de teledetección en el software libre QGIS.

(Continuación)

Id	Área	Id	Área	Id	Área	Id	Área
141	94.9	176	5822.88	211	10.05	246	14234.58
142	157.68	177	7839.61	212	6.44	247	298.86
143	15538.35	178	12.87	213	737.04	248	316.69
144	1862.78	179	6356.61	214	4803.74	249	118.43
145	18.1	180	6763.36	215	462.77	250	227.83
146	364.56	181	1858.05	216	26158.48	251	5799.1
147	7515.38	182	30674.57	217	482.05	252	2996.59
148	1871.66	183	77748.54	218	4215.39	253	282.58
149	9046.7	184	140.04	219	11.92	254	138.19
150	12039.23	185	4499.67	220	36.34	255	2239.7
151	61093.83	186	12820.18	221	6605.31	256	933.49
152	3079.79	187	3213.43	222	843.1	257	300.34
153	1442.01	188	16001.62	223	25102.4	258	518.63
154	9348.71	189	47.45	224	156384.81	259	422.64
155	780.88	190	14.09	225	82579.1	260	0.77
156	35560.12	191	437.16	226	731.04	261	1.14
157	122749.78	192	1528.2	227	860.48	262	1079.48
158	4626.98	193	935.39	228	128.02	263	1232.75
159	701.77	194	11323.7	229	37.48	264	578.52
160	56.92	195	1433.65	230	670.66	265	23.27
161	9208.49	196	1974.69	231	5769.05	266	21208.6
162	25381.28	197	631.65	232	347.86	267	128.91
163	654.08	198	47907.91	233	3766.22	268	2851.32
164	8075.62	199	741.29	234	3416.91	269	165.6
165	13832.65	200	114.77	235	617.26	270	210.86
166	3331.82	201	684.9	236	1092.96	271	5082.35
167	142.84	202	433.97	237	562.06	272	2080.83
168	744.62	203	52.84	238	3347.73	273	621.79
169	3559.24	204	3921.06	239	651.5	274	183.44
170	53.19	205	132.23	240	7213.95	275	1437.39
171	60.36	206	125.41	241	424.2	276	23000.18
172	133.45	207	13553.82	242	6423.17	277	11093.61
173	3155.87	208	15477	243	735.59	278	0.44
174	126.57	209	347.99	244	815.71	279	1258.75
175	635.05	210	11.49	245	1236.95	280	1114.46

Continua…

ANEXO A.8: Tabla Atributo - Área cubierta por maleza acuática sana para el año 2020 generada por el método de teledetección en el software libre QGIS.

(Continuación)

Id	Área	Id	Área	Id	Área	Id	Área
281	443.99	316	21031.16	351	3332.79	386	42.44
282	3900.27	317	11546.03	352	0.61	387	412.71
283	2341.25	318	50.61	353	230.85	388	10240.28
284	4331.25	319	1022.23	354	693.55	389	4.92
285	6762.33	320	4863.34	355	579.74	390	7109.13
286	156.52	321	40158.58	356	6295.59	391	99646.21
287	381.16	322	73.8	357	63.22	392	306.27
288	3028.04	323	13.41	358	1374.08	393	280.23
289	2219.99	324	2746.75	359	5252.14	394	45390.2
290	22862.24	325	1338.37	360	3730.58	395	114.99
291	827.92	326	517.68	361	9188.61	396	16445.65
292	16166.08	327	581.97	362	5763.47	397	20094.54
293	1920.59	328	7.56	363	1862.05	398	8854.26
294	4327.3	329	93.47	364	5786.08	399	5.47
295	17584.94	330	482.22	365	1.71	400	416.43
296	203.75	331	272.77	366	16750.79	401	160206.54
297	5294.44	332	17.08	367	17222.25	402	842.7
298	417.25	333	4172.78	368	7287.88	403	1782.25
299	1879.09	334	7729.34	369	21442.51	404	72.17
300	7353.14	335	30.03	370	6437.2	405	3499.39
301	397.86	336	4.85	371	2986.58	406	41.11
302	2714.17	337	106.22	372	13.2	407	35148.09
303	77850.42	338	1600.42	373	281.68	408	9711.86
304	300.21	339	2775.48	374	3137.55	409	3656.8
305	10707.47	340	4599.82	375	2155.59	410	6269.07
306	894.56	341	25.12	376	499.97	411	103.23
307	9979.74	342	25522.04	377	57850.78	412	116.15
308	890.29	343	7078.08	378	6980.03	413	573.41
309	221.65	344	398.76	379	9047.8	414	61.1
310	89619.74	345	5999.2	380	1251.62	415	105.83
311	1405.99	346	31251.47	381	1257.35	416	13431.79
312	764.52	347	1417.88	382	332.6	417	20246.49
313	2284.9	348	148.55	383	2006830	418	273.91
314	234.51	349	2192.4	384	1611.66	419	4769.98
315	2994.64	350	252.37	385	1132.67	420	2400.97

Continua…

ANEXO A.8: Tabla Atributo - Área cubierta por maleza acuática sana para el año 2020 generada por el método de teledetección en el software libre QGIS.

(Continuación)

Id	Área	Id	Área	Id	Área	Id	Área
421	207.81	456	4742.92	491	114007.99	526	421.96
422	4546.95	457	3.85	492	566.38	527	338.34
423	5774.01	458	372.91	493	403.63	528	1248.66
424	86.27	459	7.79	494	322.09	529	74.47
425	31541.81	460	76.77	495	57.03	530	6.11
426	10299.87	461	17104.71	496	77.85	531	2249.93
427	10905.47	462	260.82	497	30.35	532	219.29
428	27793.63	463	445.71	498	170.02	533	75.92
429	10233.56	464	2.45	499	757.57	534	3494.51
430	31.48	465	1641.43	500	1.76	535	21714.39
431	1713.96	466	34873.3	501	16799.98	536	180.67
432	2948.57	467	34333.16	502	10461.93	537	1594.42
433	15128.52	468	788.34	503	176.18	538	12.5
434	12694.52	469	7715.46	504	0.96	539	271.89
435	467.16	470	3.17	505	77.89	540	130.82
436	15.87	471	157.89	506	1443.92	541	66.52
437	2667.72	472	4851.57	507	1293.71	542	2311.11
438	27466.77	473	167.94	508	789.84	543	6263.59
439	187.03	474	24830.24	509	1601.87	544	517.96
440	92.72	475	5059.62	510	2403.61	545	2.87
441	8956.49	476	4441.91	511	5780.28	546	6170.95
442	33858.93	477	11316.65	512	5275.73	547	32636.64
443	10.45	478	222.75	513	1059.62	548	10687.93
444	2362.51	479	280.85	514	33.12	549	56.28
445	9764.24	480	1286.07	515	1618.62	550	121.21
446	2896.04	481	5490.92	516	157.72	551	1.08
447	435.28	482	17.2	517	4.65	552	806.74
448	116360.59	483	340.52	518	42550.15	553	6577.36
449	20750.12	484	67.9	519	12.74	554	551.09
450	1502.4	485	1144.35	520	2220.54	555	965.89
451	19.43	486	8683.03	521	3029.18	556	1016.19
452	7656.09	487	275.92	522	1019	557	153.61
453	7704.77	488	2875.92	523	40705.77	558	1714.3
454	11405.1	489	381.24	524	5843.98	559	6040.78
455	19.62	490	4120.14	525	11456.77	560	1.53

Continua…

ANEXO A.8: Tabla Atributo - Área cubierta por maleza acuática sana para el año 2020 generada por el método de teledetección en el software libre QGIS.

(Continuación)

Id	Área	Id	Área	Id	Área	Id	Área
561	126.44	596	240.57	631	1532.63	666	40.86
562	2893.5	597	5.65	632	175.75	667	276.78
563	19.03	598	1135.26	633	2495.95	668	1720.92
564	794.39	599	66.32	634	46296.57	669	4972.41
565	1041.65	600	881.61	635	2094.79	670	17.9
566	9.39	601	3733.06	636	308.52	671	498.18
567	162.64	602	46766.87	637	0.17	672	977.69
568	110.02	603	5422.88	638	2327.11	673	979.48
569	549.57	604	6460.3	639	13731.59	674	14698.1
570	121.67	605	4521.47	640	6941.74	675	114.13
571	3412.51	606	102.56	641	722.85	676	1865.65
572	592.84	607	208.91	642	34843.18	677	333.5
573	1641.51	608	7706.08	643	12164.71	678	292.7
574	647.6	609	12429.92	644	143.46	679	10543.92
575	4195.39	610	5226.47	645	424.55	680	434.29
576	52.01	611	8101.25	646	249.8	681	47004.19
577	22.17	612	5155.13	647	469.37	682	589.5
578	68.59	613	318.77	648	5971.6	683	1337.16
579	1814.49	614	2328.11	649	3529.28	684	591.25
580	32.82	615	707.62	650	726235.84	685	141.03
581	6114.46	616	1072.35	651	693.62	686	24046.39
582	4359.3	617	15913.68	652	333.04	687	3645.94
583	360.43	618	1211.89	653	27476.73	688	7876.21
584	0.49	619	230.15	654	11727.75	689	4216.67
585	9054.8	620	4199.34	655	0.2	690	7153.23
586	702.41	621	2678.04	656	8283.36	691	3787.48
587	282.98	622	5097.22	657	4415.29	692	0.61
588	2749.03	623	106.69	658	5915.21	693	9253.18
589	1201.23	624	2018.76	659	235.63	694	2427.42
590	430.52	625	170549.45	660	1899.44	695	125.36
591	5977.53	626	3223.66	661	12892.7	696	155.65
592	30.42	627	545834.17	662	139519.39	697	411.75
593	301.65	628	194.54	663	65.04	698	585.01
594	20846.45	629	440	664	92.28	699	7017.72
595	14882.4	630	137.35	665	134.1	700	19458.73

Continua…

ANEXO A.8: Tabla Atributo - Área cubierta por maleza acuática sana para el año 2020 generada por el método de teledetección en el software libre QGIS.

(Continuación)

Id	Área	Id	Área	Id	Área	Id	Área
701	554.37	736	991	771	440.12	806	18109.83
702	34629.86	737	15764.13	772	288.1	807	4152.44
703	81.46	738	4749.22	773	945.68	808	105.33
704	18638.33	739	0.5	774	10.51	809	165.04
705	11063.14	740	4342.44	775	215.3	810	28511.71
706	13.88	741	3415.4	776	1513.97	811	439.63
707	66614.52	742	579.71	777	298.08	812	1757.34
708	458.55	743	11200.22	778	3848.9	813	9.04
709	271.38	744	10745.17	779	4491.45	814	190.29
710	1265.83	745	150.65	780	49.6	815	584.95
711	249.36	746	637.25	781	4025.01	816	5739.25
712	18382.87	747	2656.98	782	356.13	817	2001.31
713	2006.65	748	836.66	783	6103.13	818	5081.44
714	14464.91	749	1023.59	784	152.05	819	274.9
715	670.81	750	19878.43	785	6271.4	820	16725.42
716	5314.2	751	441.92	786	9812.83	821	3934.15
717	23610.63	752	13266.91	787	306.14	822	3570.62
718	271.8	753	1171.15	788	67.98	823	4860.44
719	1471.88	754	27.7	789	17771.72	824	1290.65
720	110.74	755	890.73	790	974.13	825	878.58
721	12684.86	756	5665.86	791	117.64	826	220.56
722	816.9	757	16.55	792	78.63	827	325.64
723	1381.42	758	6.42	793	5566.29	828	3390.51
724	121414.21	759	8368.18	794	1811.7	829	5220.37
725	117.25	760	4563.47	795	317.47	830	47.68
726	2020.16	761	351026.83	796	3147.22	831	37.43
727	37043.27	762	2728.3	797	55356.17	832	14.19
728	439.04	763	9235.56	798	2339.02	833	25.56
729	79964.02	764	108.89	799	1604.35	834	6834.39
730	4249.34	765	1458.65	800	3046.68	835	1344.97
731	76.92	766	38.23	801	3204.8	836	4120.49
732	545.83	767	49.7	802	1692.42	837	1493.29
733	64035.62	768	4554.62	803	6805.39	838	45599.64
734	248.85	769	2523.84	804	659.6	839	1056.31
735	71.68	770	338.42	805	29.04	840	996.86

Continua…

ANEXO A.8: Tabla Atributo - Área cubierta por maleza acuática sana para el año 2020 generada por el método de teledetección en el software libre QGIS.

(Continuación)

Id	Área	Id	Área	Id	Área	Id	Área
826	64847.65	854	49.42	882	6587.93	910	110.07
827	3724.33	855	712.62	883	3184.23	911	695.86
828	37.5	856	4118.55	884	7692.4	912	289.62
829	1168.36	857	688.75	885	31024.87	913	1247.89
830	1149.17	858	119.65	886	30241.05	914	54.83
831	456.26	859	19815.55	887	882.49	915	61
832	9090.42	860	1106.57	888	61946.34	916	49.15
833	2070.01	861	8752.02	889	91.86	917	165.36
834	4877.1	862	4804.04	890	8319.62	918	2046.77
835	345.15	863	2366.74	891	27858.26	919	378.58
836	1930.77	864	49558.82	892	16179.15	920	2941.13
837	11368.55	865	20.41	893	22339.9	921	178.98
838	11959.36	866	210.3	894	339603.9	922	1437358.4
839	23016.66	867	121097.89	895	22277.21	923	516.35
840	158297.77	868	764.94	896	4302688.2	924	197.72
841	24773.81	869	8247.76	897	864095.08	925	878.77
842	611.31	870	1828.83	898	18.9	926	26581.16
843	1527.12	871	3.28	899	908.75	927	1678.36
844	343.38	872	179929.86	900	1228.44	928	5010.55
845	383.47	873	87207.44	901	68.23	929	39.55
846	22549.11	874	27414.94	902	5679.97	930	653.38
847	20916.42	875	7106.8	903	1820.74	931	1488.68
848	4.86	876	43.24	904	2585.11	932	50554.44

ANEXO B
MATRIZ MULTICRITERIO MÉTODO DE EVALUACIÓN RÁPIDA DE INVASIVIDAD (MERI)

ANEXO B.1: Tabla de análisis multicriterio para ponderar el riesgo de especies invasoras MERI

	Pregunta	Valor de intensidad de respuesta		Valor de intensidad de incertidumbre		
	Estatus					
1	Antecedentes como especie invasora	Muy alto	1	Mínima	1	1
2	Relación con taxones invasores	Alto	0.75	Mínima	1	0.75
3	Vector de otras especies	Muy alto	1	Mínima	1	1
	Invasividad					
4	Riesgo de entrada	Muy alto	1	Baja	0.75	0.75
5	Riesgo de establecimiento	Muy alto	1	Mínima	1	1
6	Riesgo de dispersión	Muy alto	1	Baja	0.75	0.75
	Impactos					
7	Impactos sociales y económicos	Muy alto	1	Media	0.5	0.5
8	Impactos a la salud	Alto	0.75	Baja	0.75	0.5625
9	Impactos ecológicos	Alto	0.75	Baja	0.75	0.5625
10	Impactos ambientales	Muy alto	1	Mínima	1	1
				Resultado		0.7875

ANEXO C
PRESENCIA DE JACINTO DE AGUA *(E. crassipes)* EN EL LAGO DE SUCHITLAN

Figura C.1 Lago de Suchitlan marzo 2020.

Figura C.2 Lago de Suchitlan diciembre 2019.

Figura C.3 Vista de Lago de Suchitlan sitio turístico, diciembre 2019.