



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES

**“EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RESIDUO DE
LECHUGUINES (*Eichhornia crassipes*) CULTIVADOS EN PLANTAS DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON FINES ENERGETICOS”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO/A EN
ENERGÍAS RENOVABLES**

AUTOR:

KAREN VANESSA MENDOZA LÓPEZ

DIRECTOR:

JUAN CARLOS GARCÍA MONTOYA PhD.

IBARRA-ECUADOR

2023

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más profunda gratitud a Dios que ha sido el que me ha permitido estar en esta fase de mi vida, culminando mis estudios he iniciado una nueva etapa en el camino y que a través de su bondad y sus bendiciones han logrado en mi persona sentimientos que llenan mi corazón de humildad, nobleza y amor.

Desde el fondo de mi corazón AGRADEZCO infinitamente a mis padres porque gracias a su esfuerzo y dedicación han logrado sacarnos adelante a mis hermanos y mí, brindándonos lo más preciado para nosotros que es la educación que será una puerta para ser mejores cada día.

Inculcándonos valores como respeto, esfuerzo, perseverancia, compañerismo, solidaridad y humildad que nos ha caracterizado siempre. Agradezco a mis hermanos por ser parte de mi vida y darme sus palabras de aliento para culminar y cumplir cada objetivo y meta trazada. A David por ser un apoyo incondicional para mí en los últimos años y que gracias a él puedo decir hoy en día que este objetivo esta cumplido con la bendición de Dios.

A la Universidad Técnica del Norte por haberme abierto las puertas y permitirme ser parte de esta prestigiosa casona, la cual con orgullo la llevaré durante el resto de mis días.

De igual manera, agradezco a mi director de tesis el PhD. Juan Carlos García, que ha sabido brindarme todos los conocimientos necesarios y que con su experiencia ha formado parte de este proceso de elaboración de mi trabajo de investigación. A mis asesores la Msc. Mónica León y el Msc. Jorge Granja que me brindaron sus consejos, su guía, sus sugerencias y su acompañamiento los cuales me permitieron mejorarlos y culminarlos con éxito. Finalmente, a mis docentes de carrera por su paciencia, sus conocimientos y experiencias brindados en las aulas de estudio que servirán para mejorar diariamente como profesionales.

DEDICATORIA

Este trabajo investigativo se lo dedico a Dios ya que a través de él que me ha dado vida y salud, estoy permitiéndome cumplir con este sueño tan anhelado para mí y mi familia.

A mis padres Javier Mendoza y Saira López que han sido mi apoyo fundamental y mis ganas de ser cada día mejor ser humano. A mis hermanos Jhonny y Mateo que con este objetivo cumplido dejo la enseñanza de que todo lo que se propongan lo pueden llegar a lograr.

A David mi compañero de camino que no se rindió y me apoyó para salir siempre adelante ante toda adversidad. A mis abuelitos que con sus consejos de vida me han brindado gratos momentos que siempre los llevaré en mi corazón.

A mis amigos que son la familia que uno escogió y que hasta el día de hoy han sido un apoyo esencial en momentos difíciles. A mis amigos de universidad Santiago, Luis, Rubén, Paola, por ser cómplices e incondicionales por ser seres humanos de gran corazón, luchando cada uno por sus sueños. A mi amigo Jordy por ser una gran persona y por su ayuda fundamental en este proceso de estudios gracias por toda su paciencia.

Dedico este triunfo a todos quienes han creído en mí desde el primer momento y han visto el potencial que tengo para lograr lo que me propongo a ellos quedo eternamente agradecida.

Karen Vanessa Mendoza López



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES

CERTIFICACIÓN TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE
TITULACIÓN

Ibarra, 4 de mayo de 2023

Para los fines consiguientes, una vez revisado el documento en formato digital el trabajo de titulación: **“EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RESIDUO DE LECHUGUINES (*Eichhornia crassipes*) CULTIVADOS EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON FINES ENERGETICOS”**, de autoría de la señorita KAREN VANESSA MENDOZA LÓPEZ estudiante de la Carrera de **INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES** el tribunal tutor **CERTIFICAMOS** que el/la autor/a o autores ha procedido a incorporar en su trabajo de titulación las observaciones y sugerencia realizadas por este tribunal.

Atentamente,

TRIBUNAL TUTOR

MSc. Juan Carlos García, PhD.
DIRECTOR TRABAJO TITULACIÓN

Ing. Luis Álvarez, MSc. (SUPLENTE)
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

Ing. Mónica León, MSc.
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TRITULACIÓN

FIRMA

Misión Institucional:

Contribuir al desarrollo educativo, científico, tecnológico, socioeconómico y cultural de la región norte del país. Formar profesionales críticos, humanistas y éticos comprometidos con el cambio social.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES

UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN NRO. 001-073-CEAACES-2013-13
Ibarra-Ecuador

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

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA :	1004323109	
NOMBRES Y APELLIDOS:	Karen Vanessa Mendoza López	
DIRECCIÓN:	Atuntaqui- Barrio Las Palmas calle Rocafuerte y pasaje Santa Teresa tras casa comunal.	
EMAIL:	kvmendozal@utn.edu.ec	
TELEFONO FIJO Y MOVIL:	2617873	0969485110

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RESIDUO DE LECHUGUINES (<i>Eichhornia crassipes</i>) CULTIVADOS EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON FINES ENERGETICOS”
AUTOR:	Karen Vanessa Mendoza López
FECHA:	15 de mayo 2023
SOLO PARA TRABAJO DE TITULACIÓN	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PRESGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera en Energías Renovables
DIRECTOR:	MSc. Juan Carlos García PhD.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES

UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN NRO. 001-073-CEAACES-2013-13
Ibarra-Ecuador

2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 15 días del mes de mayo del 2023

Autora:

Nombre: Karen Vanessa Mendoza López

INDICE

RESUMEN	XII
ABSTRACT.....	XIII
Capítulo I	14
Introducción	14
1.1. Antecedentes	14
1.2. Problema de investigación.....	15
1.3. Justificación	16
1.4. Pregunta Directriz	16
1.5. Objetivos	16
1.5.1. <i>Objetivo General</i>	16
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i>	17
1.6. Hipótesis	17
Capítulo II.....	18
Revisión de Literatura.....	18
2.1. Energías Renovables	18
2.1.1. <i>Fuentes de Energía Renovable</i>	18
2.1.2. <i>Biomasa</i>	19
2.1.3. <i>Plantas de Tratamiento</i>	20
2.2. Plantas Acuáticas en Sistemas de Tratamiento.....	20
2.2.1. <i>Clasificación de las Plantas Acuáticas</i>	20
2.2.2. <i>Lechuguines</i>	21
2.2.3. <i>Características</i>	22
2.2.4. <i>Taxonomía del Lechuguín</i>	22

2.2.5. <i>Tecnologías de Aprovechamiento</i>	23
2.2.6. <i>Clasificación de Procesos</i>	23
2.3. Marco Legal	23
Capítulo III.....	25
Metodología	25
3.1. Descripción del Área de Estudio.....	25
3.2. Métodos.....	26
3.2.1. <i>Cuantificación de la Biomasa de Lechuguines (Eichhornia crassipes)</i>	27
3.2.2. <i>Caracterización de Propiedades Proximales, Estructurales y Elementales del Lechuguín (Eichhornia crassipes) seco como Residuo.</i>	33
3.2.3. <i>Definición de Tecnología Óptima para Producción de Bicomcombustible a Partir del residuo de Lechuguín (Eichhornia crassipes) de Plantas de Tratamiento.</i>	35
3.3. Materiales y Equipos.....	37
Capítulo IV.....	38
Resultados y Discusión	38
4.1. Biomasa de lechuguines (<i>Eichhornia crassipes</i>) en plantas de tratamiento	38
4.1.1. <i>Peso Húmedo</i>	38
4.1.2. <i>Georreferenciación</i>	39
4.1.3. <i>Peso Seco</i>	40
4.2. Propiedades proximales, estructurales y elementales del lechuguín (<i>Eichhornia crassipes</i>) seco como residuo.....	43
4.2.1. <i>Análisis Elemental de Lechuguines (Eichhornia crassipes)</i>	43
4.2.2. <i>Análisis Proximal y Estructural de Lechuguines (Eichhornia crassipes)</i>	45
4.2.3. <i>Calorimetría</i>	49
4.3. Tecnología óptima para producción de bicomcombustible a partir del residuo de lechuguín	

<i>(Eichhornia crassipes)</i> de plantas de tratamiento	51
Capítulo V	54
Conclusiones y Recomendaciones	54
5.1. Conclusiones	54
5.2. Recomendaciones	54
Referencias.....	55

Índice de figuras

FIGURA 1 LECHUGUINES PLANTA ACUÁTICA	22
FIGURA 2 UBICACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO UTN.....	25
FIGURA 3 UBICACIÓN LAGUNA DE YAHUARCOCHA	26
FIGURA 4 POLÍGONOS UTN.....	27
FIGURA 5 POLÍGONOS YAHUARCOCHA	27
FIGURA 6 CRECIMIENTO DE LA PLANTA	28
FIGURA 7 TIEMPO DE CRECIMIENTO DEL LECHUGUÍN	29
FIGURA 8 DELIMITACIÓN DE MUESTRAS DE LECHUGUÍN	29
FIGURA 9 RECOLECCIÓN DE LA PLANTA DE LECHUGUÍN.....	30
FIGURA 10 TOMA DE PESO DE LA PLANTA DE LECHUGUÍN	31
FIGURA 11 GEORREFERENCIACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LA UTN	39
FIGURA 12 GEORREFERENCIACIÓN DE YAHUARCOCHA	39
FIGURA 13 CURVA DE SECADO DE LECHUGUÍN PUNTO 1 UTN	40
FIGURA 14 CURVA DE SECADO DE LECHUGUÍN PUNTO 2 UTN	40
FIGURA 15 CURVA DE SECADO DE LECHUGUÍN PUNTO 3 UTN	41
FIGURA 16 CURVA DE SECADO DE LECHUGUÍN PUNTO 1 YAHUARCOCHA	41
FIGURA 17 CURVA DE SECADO DE LECHUGUÍN PUNTO 2 YAHUARCOCHA	41
FIGURA 18 CURVA DE SECADO DE LECHUGUÍN PUNTO 3 YAHUARCOCHA	42
FIGURA 19 ANÁLISIS DEL PORCENTAJE DE LIGNOCELULÓSICOS	45
FIGURA 20 ANÁLISIS DEL PORCENTAJE DE LIGNOCELULÓSICOS PUNTO 2- UTN	46
FIGURA 21 ANÁLISIS DEL PORCENTAJE DE LIGNOCELULÓSICOS PUNTO 3- UTN	46
FIGURA 22 ANÁLISIS DEL PORCENTAJE DE LIGNOCELULÓSICOS PUNTO 1- YAH.....	47
FIGURA 23 ANÁLISIS DEL PORCENTAJE DE LIGNOCELULÓSICOS PUNTO 2- YAH.....	47
FIGURA 24 ANÁLISIS DEL PORCENTAJE DE LIGNOCELULÓSICOS PUNTO 3- YAH.....	47
FIGURA 25 MATRIZ DE DECISIÓN DE TECNOLOGÍAS	50

Índice de tablas

TABLA 1 TAXONOMÍA DEL LECHUGUÍN.....	22
TABLA 2 SITIOS DE MUESTREO	26
TABLA 3 PUNTOS DE RECOLECCIÓN DEL LECHUGUÍN.....	30
TABLA 4 COMPARACIÓN DE RECIPROCIDAD E IMPORTANCIA.....	36
TABLA 5 DESCRIPCIÓN DE MATERIALES	37
TABLA 6 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS	37
TABLA 7 EVALUACIÓN DEL PESO HÚMEDO DE LOS LECHUGUÍN UTN	38
TABLA 8 EVALUACIÓN DEL PESO HÚMEDO DE LOS LECHUGUÍN YAHUARCOCHA	38
TABLA 9 COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO.....	40
TABLA 10 HUMEDAD EXTRAÍDA - PLANTA DE TRATAMIENTO UTN	42
TABLA 11 HUMEDAD EXTRAÍDA - PLANTA DE TRATAMIENTO H	43
TABLA 12 ANÁLISIS DE ELEMENTOS PRESENTES EN PLANTA DE TRATAMIENTO UTN.....	43
TABLA 13 ANÁLISIS DE ELEMENTOS PRESENTES EN YAHUARCOCHA.....	43
TABLA 14 RELACIÓN C/N - UTN.....	44
TABLA 15 RELACIÓN C/N - YAH.....	44
TABLA 16 PORCENTAJE DE HEMICELULOSA, CELULOSA Y LIGNINA UTN	48
TABLA 17 PORCENTAJES DE HEMICELULOSA, CELULOSA Y LIGNINA- YAHUARCOCHA	48
TABLA 18 PODER CALORÍFICO LECHUGUÍN UTN.....	49
TABLA 19 PODER CALORÍFICO YAHUARCOCHA	49
TABLA 20 DATOS EN INFOSTAT	50
TABLA 21 TABLA DE SHAPIRO.....	51
TABLA 22 ANÁLISIS ANOVA UTN	51
TABLA 23 ANÁLISIS ANOVA YAH.....	51

RESUMEN

Con el avance tecnológico, incremento poblacional y escasos recursos naturales que con el tiempo han contribuido al calentamiento global y contaminación ambiental, el ser humano ha buscado alternativas para afrontar la demanda energética existente mediante el aprovechamiento energético de recursos orgánicos de segunda generación. El excesivo crecimiento de la planta *Eichhornia crassipes* usualmente conocida como lechuguín genera inconvenientes en embalses, plantas de tratamiento y cuerpos de agua dulce; un gran desafío consiste en buscar una alternativa de solución, mediante la evaluación de potencial energético de este recurso vegetal disponibles en la planta de tratamiento biológico de aguas residuales UTN y en la laguna de Yahuarcocha, dando resultados de 8.76 ton en 175m² en la planta UTN y de 90075.03 ton en un área de 1959715m² en laguna de Yahuarcocha con una cobertura supuesta de 80%. En el análisis elemental, proximal, estructural y poder calorífico se llevó a cabo procesos de secado para eliminación de humedad con el fin de obtener residuos secos de lechuguines y determinar características esenciales de la planta, como resultado se identificó rangos bajos de lignina (10%-15%), rangos medios de hemicelulosa (20%-22%) y con mayor presencia de celulosa en rangos (60%-68%), estableciendo que es apta para aplicaciones bioenergéticas. En cuanto al poder calorífico se comprobó que tiene rangos entre (13-16 MJ/kg) dependiendo del cuerpo de agua del que fue extraído el lechuguín, evidenciando que lo recolectado en la planta de tratamiento UTN posee mayor poder calorífico. Para determinación de una tecnología óptima para producción bioenergética se evaluó tres alternativas como son combustión directa (briquetado), hidrólisis enzimática (producción de azúcares) y digestión anaerobia (fermentación). Y a través de una matriz de decisión y mediante criterio de evaluación se determinó que la hidrólisis enzimática es el proceso más apropiado para aprovechar la totalidad la celulosa del lechuguín y el residuo del mismo.

Palabras Clave: lechuguín, tecnología, aprovechamiento, bioenergía, hidrólisis.

ABSTRACT

With technological advances, population growth and scarce natural resources that have contributed to global warming and environmental pollution over time, humans have sought alternatives to meet the existing energy demand through the energy utilization of second-generation organic resources. The excessive growth of the *Eichhornia crassipes* plant commonly known as lechuguín generates inconveniences in reservoirs, treatment plants and freshwater bodies; a major challenge consists in looking for an alternative solution, by evaluating the energy potential of this plant resource available at the UTN wastewater biological treatment plant and Yahuarcocha lagoon, resulting in 8.76 tons in 175m² at UTN plant and 90075.03 tons in an area of 1959715m² in Yahuarcocha lagoon with an alleged coverage of 80%. For elementary, proximal, structural and caloric analysis, drying processes were carried out to eliminate moisture in order to obtain the residue of leaches by obtaining analyses with low ranges of lignin (10%- 15%), medium ranges in hemicellulose (20%-22%) and with greater presence of cellulose in ranges (60%-68%), determining that it is suitable for bioenergetic applications. As for the caloric power, it was found that it has ranges between (13-16 MJ/kg) depending on the body of water from which the leach was extracted, evidencing that what is collected at the UTN treatment plant possesses greater caloric power. To determine the optimal technology for bioenergetic production, three alternatives were evaluated: direct combustion (briketing), enzymatic hydrolysis (sugar production) and anaerobic digestion (fermentation). And through a decision matrix and by assessment criteria it was determined that enzymatic hydrolysis is the most appropriate process to take advantage of the whole cellulose of the leach and its residues.

Keywords: lechuguín, technology, exploitation, bioenergy and hydrolysis.

Capítulo I

Introducción

1.1. Antecedentes

El incremento del precio del petróleo, la naturaleza finita de combustibles fósiles y preocupación con respecto al impacto ambiental, especialmente sobre emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), han establecido la necesidad de buscar nuevas fuentes de energía, así como desarrollar tecnologías alternativas para un cambio de matriz energética (Balat, 2011). Las energías alternativas a la luz de numerosas políticas en el mundo relacionadas con el Protocolo de Kioto, el aumento de precios del petróleo y gas natural han llevado a duplicarse necesidades energéticas mundiales, sin embargo, el avance tecnológico genera nuevas expectativas de energía que pueden cambiar el destino de la humanidad (Flores et al., 2019).

El crecimiento acelerado de población ha contribuido al cambio climático y contaminación ambiental, en territorios donde se encuentran actividades humanas que provocan impactos extremos generando incertidumbre en la sustentabilidad, la búsqueda de nuevas alternativas para reducir la contaminación están focalizadas al tratamiento de aguas residuales, implementados para recuperar diariamente el recurso hídrico causante de la emanación de gases contaminantes y malos olores (Valladares et al., 2005).

Los recursos hídricos de la provincia de Imbabura han presentado múltiples inconvenientes en el transcurso del tiempo. La creciente población de lechuguines afecta el funcionamiento normal de ecosistemas y constituye un problema en los embalses, plantas de tratamiento y cuerpos de agua dulce (Balat, 2011). El lechuguín (*Eichhornia crassipes*) actualmente es considerado maleza invasora a nivel mundial, con una generación de masa en grandes volúmenes, la población densa de lechuguín afecta directamente la fauna acuática, a través de la reducción del contenido de oxígeno en el agua; en un embalse de agua dulce la SENAGUA estima, una cobertura infestada con lechuguines del 20 al 30 %, afectando directamente el espejo de agua, actualmente en el Ecuador se desconoce el potencial energético de este vegetal (Vera, 2012).

En contexto, el cambio climático con lluvias irregulares y estaciones secas prolongadas provoca que los efectos de la presencia de lechuguines en embalses sean más graves y se complique

más la disminución de la oferta hídrica, ocasionada por el incremento de la temperatura y evapotranspiración (Ministerio del Ambiente, 2013). Varios estudios y proyectos han identificado la presencia del lechuguín (*Eichhornia crassipes*) y su impacto sobre la infraestructura hídrica, años anteriores se presentó la necesidad de elaborar estrategias que permitan evitar el problema o prevenirlo impidiendo la reproducción vegetal, aplicando medidas técnicas o mediante convenio personal para realizar a tiempo el retiro manual de la planta (Vera, 2012).

Los intensos esfuerzos dirigidos hacia la erradicación del lirio acuático, patentes en amplias referencias y revistas especializadas sobre el tema, aportaron soluciones parcialmente satisfactorias (Valladares et al., 2005). Pocas veces los métodos de control tienen efectos específicos sobre malezas, sin tener repercusión en el resto del sistema, en otras ocasiones son efectivos a corto plazo a expensas de un alto costo, o bien, logran mantener niveles tolerables por medio del control biológico (Gualle, 2021).

Una población densa de lechuguín (*Eichhornia crassipes*) afecta directamente la fauna acuática, a través de la reducción del contenido de oxígeno en el agua, e indirectamente, existen registros de muertes de peces a consecuencia de bajos niveles de oxígeno; en general, la infestación de lechuguín (*Eichhornia crassipes*) en un cuerpo de agua dulce provoca la disminución de biodiversidad (Vera, 2012).

1.2. Problema de investigación

Desde principios históricos el hombre ha dado grandes pasos para su desarrollo y capitalización, priorizando recursos tales como el petróleo y gas natural los cuales permitieron su crecimiento industrial, prevaleciendo su explotación y procesamiento químico para productos de primera necesidad, incluido generación eléctrica, convirtiéndose en el recurso natural no renovable más usado en el tiempo.

La evolución de la sociedad humana es considerada un sistema complejo que no ha sido lineal, sino que ha tenido puntos de cruce donde se han producido cambios significativos dando lugar a nuevas situaciones de equilibrio, la biomasa hasta el inicio de la época industrial se convirtió en la fuente energética más importante para la humanidad, y desde entonces quedó olvidada y pasó a un segundo plano por el uso masivo de combustibles fósiles.

En Imbabura existe un desconocimiento del potencial energético de la biomasa a partir de lechuguines (*Eichhornia crassipes*) para la producción de combustibles alternativos. Es por ello que se busca implementar nuevas alternativas energéticas ambientalmente amigables para el entorno que aprovechen recursos naturales existentes, con lo que se desea aportar al cambio de matriz energética del país reemplazando fuentes convencionales tales como el petróleo gasolina, gas natural, entre otros, que han provocado un incremento acelerado de contaminación ambiental y el incremento de temperatura del planeta.

1.3. Justificación

En este sentido el presente trabajo de investigación nace con la finalidad de buscar una solución a la problemática del crecimiento excesivo de lechuguines (*Eichhornia crassipes*) no solo en plantas de tratamiento de aguas residuales si no también en todo cuerpo acuífero en donde se localice esta planta y que se pueda utilizar este recurso natural considerado maleza acuática, como combustible alternativo o fuente de energía renovable limpia, debido a que se encuentra con facilidad en plantas de tratamiento de aguas residuales, lagos, estanques, etc., y su crecimiento abundante provoca inconvenientes en el flujo del recurso hídrico, afectando directamente al espejo de agua y fauna acuática que habita en cuerpos de agua dulce. En este sentido se desea cumplir con objetivos del “Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025” y aportar el cambio de matriz energética del país cumpliendo con la agenda 2030 que promueve objetivos que enmarca pilares fundamentales como sustentabilidad ambiental y desarrollo territorial equitativo mejorando la calidad de vida y recuperando el medio ambiente.

1.4. Pregunta Directriz

¿Existe un potencial energético adecuado a partir de los residuos de los cultivos de lechuguines en plantas de tratamiento de aguas residuales?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Evaluar el potencial energético de lechuguines (*Eichhornia crassipes*) cultivados en plantas de tratamiento de aguas residuales.

1.5.2. Objetivos Específicos

Cuantificar la biomasa de lechuguines (*Eichhornia crassipes*) disponibles en plantas de tratamiento.

Caracterizar las propiedades estructurales, elementales y proximales del lechuguín (*Eichhornia crassipes*) seco como residuo.

Definir la tecnología óptima para producción de bicomcombustible a partir del lechuguín (*Eichhornia crassipes*) de plantas de tratamiento.

1.6. Hipótesis

Ho: El potencial energético a partir de la biomasa de residuos de lechuguines cultivados en plantas de tratamiento de aguas residuales es apropiado para producción de biocombustibles.

Ha: El potencial energético a partir de la biomasa de residuos de lechuguines no es apropiado para producción de biocombustibles.

Capítulo II

Revisión de Literatura

En el siguiente capítulo se detalla toda la información técnica-científica necesaria recopilada para la investigación, en donde se priorizaron fuentes de información como libros académicos, artículos científicos, conferencias internacionales, investigaciones, entre otros.

2.1. Energías Renovables

Las energías renovables en la actualidad, son consideradas en teoría fuentes que no se agotan con el paso del tiempo, por otra parte, se denominan como una alternativa energética con impacto ambiental mínimo en comparación a otras fuentes de energía tradicional (Espinoza y León, 2012). Este tipo de fuentes energéticas renovables tienen la característica de ser relativamente limpias e inagotables, dependiendo en gran parte del escenario climatológico de cada zona, para determinar el nivel de producción eléctrica (Garzón, 2010).

2.1.1. Fuentes de Energía Renovable

Los recursos renovables son recursos naturales recuperados en un periodo corto de tiempo, la energía renovable es generada a partir de recursos naturales tales como, luz solar, viento, movimiento del agua, biomasa y calor geotérmico (Gorjian, 2017). Según Sánchez (2023), todo recurso natural puede ser aprovechado por el ser humano para la utilización como fuente energética siendo considerados como fuentes limpias para el ambiente.

Energía solar PV. La energía fotovoltaica (PV) es la forma más directa de convertir radiación solar en electricidad y se basa en el efecto fotovoltaico, es decir, se define como la aparición de un voltaje eléctrico entre dos electrodos unidos a un sistema sólido o líquido (Lotsch et al., 2005). Según Pérez (2018), esta energía proveniente del sol y es la más utilizada a nivel mundial permitiendo generar múltiples proyectos enmarcados a producción renovable.

Energía Solar Térmica. Los sistemas de energía solar térmica convierten energía solar en electricidad, al concentrar primero la luz solar entrante, luego convertirla en calor y finalmente convertir el calor en electricidad, debido a este proceso se distingue la tecnología térmica de la energía fotovoltaica que produce electricidad a partir de luz solar (Holl y Demeo, 1990).

Energía eólica. La energía disponible en el viento es básicamente energía cinética de grandes masas de aire que se mueven sobre la superficie de la tierra, esta energía se aprovecha gracias a las palas de la turbina eólica que reciben esta energía cinética, para luego transformarla en formas de energía mecánicas o eléctricas, dependiendo de su uso final (Mathew, 2006).

Energía geotérmica. La energía geotérmica es la energía térmica que se genera y almacena dentro de la Tierra, debido a la diferencia de temperatura entre el núcleo de la Tierra y la superficie de la misma crea un gradiente geotérmico, lo que significa que la energía térmica se conduce continuamente a la superficie, recursos geotérmicos se producen cuando el flujo de calor a la superficie es alto, permitiendo que la energía se extraiga económicamente para generación de electricidad, uso directo en aplicaciones como calefacción urbana o usos agrícolas (Carcelén y Izquierdo, 2022).

Bioenergía. La bioenergía es energía generada a partir de materia orgánica de origen vegetal y animal, como residuos agrícolas y forestales, cultivos energéticos, madera o desechos orgánicos, por ello, la bioenergía se considera una forma de energía renovable baja en carbono, el proceso natural de fotosíntesis dentro de las plantas bloquea el CO₂ atmosférico en materia orgánica, que cuando se quema muchos años más tarde o en cualquier forma, libera el CO₂ a la atmósfera (Röder y Welfle, 2018).

2.1.2. Biomasa

El termino biomasa se ha utilizado en el campo ecológico en forma tradicional para denominar a la materia orgánica presente en un ecosistema; en ámbito de las energías renovables el termino biomasa se utiliza con dos significados distintos ya que la misma denominación se aplica al recurso y a energía que se produce con su uso (Carrillo, 2004).

La biomasa abarca todo un conjunto heterogéneo de materias orgánicas, tanto por su origen como por su naturaleza. En el contexto energético, el término biomasa se emplea para denominar a una fuente de energía renovable basada en la utilización de la materia orgánica formada por vía biológica en un pasado inmediato o de productos derivados de ésta (Fernández, 2007).

Según Jiménez (2018), la planta (*Eichhornia crassipes*) se presenta como material óptimo para producción energética ya sea como biomasa densificada, producción de biogás entre otro aspecto aprovechable generando fuentes energéticas alternativas en reemplazo de fuentes

convencionales.

2.1.3. Plantas de Tratamiento

Una planta de tratamiento de aguas residuales realiza limpieza del agua usada y aguas residuales para que pueda ser devuelto de forma segura a nuestro medio ambiente; el tratamiento de aguas residuales es relativamente reciente, su inicio data a fines de 1800 y principios del actual siglo y concuerda con la época de la higiene por lo cual se desarrolló como resultado de la relación entre contaminación de recursos y cuerpos de agua y las enfermedades de origen hídrico (Rojas, 2002).

Al eliminar sólidos, desde plásticos, trapos y vísceras hasta arena y partículas más pequeñas que se encuentran en aguas residuales implica hacer procedimientos de biorremediación que reducen estos y otros microorganismos naturales, que consumen materia orgánica en aguas residuales y que luego se separan del agua, es así que, al restaurar el oxígeno, el proceso de tratamiento asegura que el agua puesta de nuevo en ríos o lagos tiene suficiente oxígeno para soportar la vida (SPENA, 2016).

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales con plantas acuáticas son una tecnología relativamente novedosa; el empleo de macrófitas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales se desarrolló rápidamente en las últimas décadas, principalmente en Europa y Estados Unidos, el jacinto o buchón acuático, (*Eichhornia crassipes*), ha sido la especie más estudiada hasta el momento, con buenos resultados en remoción de DBO, sólidos suspendidos, organismos patógenos, nutrientes e incluso metales pesados (Valderrama, 2010).

2.2. Plantas Acuáticas en Sistemas de Tratamiento

Las plantas acuáticas o macrófitas también conocidas como plantas hidrofíticas se encuentran adaptadas a medios muy húmedos o acuáticos como; lagos, estanques, charcos, pantanos, orillas de los ríos o lagunas marinas, y pertenecen tanto a algas, como a vegetales vasculares: briófitos, pteropsidas y angiospermas (Donoso, 2015).

2.2.1. Clasificación de las Plantas Acuáticas

Su armonía con el medio acuático es variable, se pueden encontrar diferentes grupos de plantas: unas totalmente sumergidas, las más numerosas, parcialmente sumergidas o con hojas flotantes; habitualmente adaptadas en barro que se forma en el fondo de las aguas donde viven

algunas son libres (caso excepcional en el mundo vegetal) derivando entre dos aguas y flotando en la superficie (Fund Global Nature, 2004).

Según Donoso (2015), estas especies están adaptadas al modo de vida acuático tanto en su parte vegetativa como reproductiva; los medios que acogen este tipo de plantas son múltiples: agua dulce, agua salada, aguas estancadas, temperaturas más o menos elevadas en donde existen dos diferentes tipos:

Plantas acuáticas sumergidas: Son especies que las raíces y follaje se desarrollan bajo el agua, estas plantas contribuyen a la oxigenación del agua y su papel es importante porque aseguran una aportación regular de oxígeno a la flora y fauna, a su vez limitan el desarrollo de las algas que aprecian las aguas estancadas y poco provistas de oxígeno (p. 7).

Plantas acuáticas flotante: Las especies no arraigadas cubren la superficie del estanque ayudando a evitar la proliferación de algas cumpliendo también un papel de filtración y clarificación del agua (p. 7).

2.2.2. *Lechuguines*

Conocido también como jacinto de agua o lirio acuático, se encuentra dentro del orden Liliales; está ampliamente distribuida en Sudamérica, presenta crecimiento muy rápido, se trata de una planta acuática perenne flotadora, gracias a cámaras de aire o fija al sustrato en su estructura presenta raíces fibrosas, tallo reducido o bien un tallo horizontal, rizoma, que une a varios individuos (Freire & Urtubey, 2020).

Las hojas forman una roseta basal, los pecíolos son largos y cilíndricos en aquellas plantas fijas al sustrato; se presentan cortos y globosos en las plantas flotantes, el limbo de las hojas es casi circular o más largo que anchas, de 2.5 a 16 cm de largo y 3 a 12 cm de ancho como se ve en la Figura 1 (Vibrans et al., 2005).

Figura 1

Lechuguines planta acuática



2.2.3. Características

La planta se extiende lateralmente hasta recubrir toda la superficie del agua y llega a medir entre 0.5 y 1.2 m desde la parte superior hasta la raíz, es la octava planta con crecimiento más rápido del mundo (Azcón-Bieto & Talón, 2003).

Su reproducción es asexual y sexual, se reproduce por propagación vegetativa; sus flores son atractivas y grandes de color violeta claro, agrupadas en espigas, las semillas suelen ser una importante fuente de rebrote una vez que son eliminadas las plantas adultas; según un estudio científico dos plantas madre producen 300 plantas hijas en 23 días y 12000 en 4 meses (Obando, 2006).

2.2.4. Taxonomía del Lechuguín

Según Donoso (2015), al lechuguín se lo conoce como Jacinto, violeta de agua, camalote y lampazo esta planta de características flotadora o fija y sus propiedades taxonómicas se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1

Taxonomía del Lechuguín

Reino:	Vegetal
División:	Spermatophytas
Subdivisión:	Angiospermae
Familia:	Pontederiaceae
Género:	Eichhornia
Orden:	Pontederiales
Especie:	<i>Eichhornia crassipes</i>

2.2.5. Tecnologías de Aprovechamiento

Las propiedades de la biomasa son decisivas en la selección de tecnologías a utilizar para su aprovechamiento, actualmente se utilizan diversos métodos, que a grandes rasgos pueden diferenciarse en termoquímicos y bioquímicos. Entre los que se destacan la combustión y la gasificación.

2.2.6. Clasificación de Procesos

Los procesos de transformación de biomasa se pueden agrupar en dos grandes categorías, dependiendo del porcentaje de humedad que contengan (Herguedas, 2013).

Procesos Termoquímicos: a partir de biomasa seca, donde el contenido de agua dificulta la valorización energética (Ministerio de Coordinación de la Producción, 2014) Los procesos termoquímicos involucran tres grandes grupos:

- Combustión
- Gasificación
- Pirólisis

Procesos Químicos y Bioquímicos: a partir de biomasa húmeda. Estos involucran tres grandes grupos:

- Fermentación alcohólica
- Transesterificación y Esterificación
- Digestión anaeróbica

Los procesos bioquímicos se producen a temperatura ambiental o cercana a ella. Estas son las transformaciones anaerobias y la fermentación alcohólica.

2.3. Marco Legal

Con referencia a los artículos 15 y 413 de la Constitución del Ecuador (2008), la investigación contribuye a promover el uso de tecnologías limpias y energías no contaminantes con bajo impacto ambiental y riesgo en la soberanía alimentaria, equilibrio ecológico de ecosistemas y derecho al agua.

De igual manera el trabajo de investigación enmarca el cumplimiento de los objetivos del Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025 del gobierno nacional. Que contempla 2 objetivos de transición Ecológica (Observatorio Regional de Planificación para el Desarrollo, 2021).

- Objetivo 11: Conservar, restaurar, proteger y hacer uso sostenible de los recursos naturales (p. 85).
- Objetivo 12: Fomentar modelos de desarrollo sostenibles aplicando medidas de adaptación y mitigación al cambio climático (p. 87).

Capítulo III

Metodología

En el siguiente capítulo se detalla los procedimientos y métodos que se llevaron a cabo para el cumplimiento de los objetivos planteados en el trabajo de investigación.

3.1. Descripción del Área de Estudio

El área de estudio se enfocó en la planta de tratamiento biológico de aguas residuales de la Universidad Técnica del Norte ubicado en el Estadio de la UTN, sector El Olivo con unas coordenadas latitud: 0.379739, longitud -78.122891, Av. 13 de abril y Morona Santiago, Parroquia El Sagrario, Cantón Ibarra, Provincia Imbabura

Figura 2

Ubicación planta de tratamiento UTN



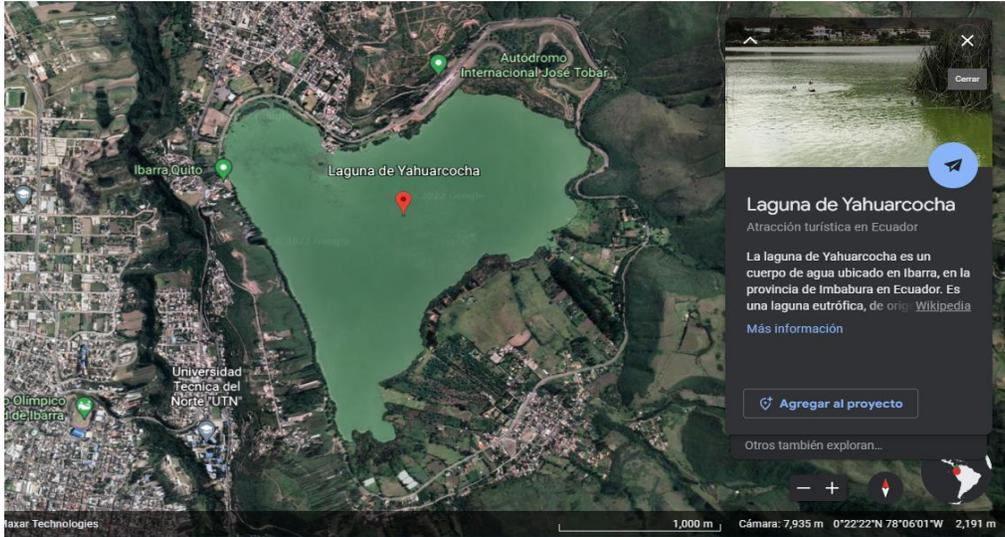
Nota. Tomado de: (Google map, 2022).

Así como también en el cuerpo de agua denominado Laguna de Yahuarcocha, con coordenadas latitud: 0.371987, longitud: -78.101742 ubicado en el Cantón Ibarra Provincia de Imbabura.

En donde se determina si es un proyecto viable la elaboración de combustibles alternos a partir de residuos de lechuguines (*Eichhornia crassipes*) como se ve en la Figura 3.

Figura 3

Ubicación Laguna de Yahuarcocha



Nota. Tomado de: (Google map, 2022).

Para esta investigación se seleccionó dos lugares donde se obtuvieron muestras de la planta acuática de lechuguín, por lo tanto, en la Tabla 2, se explica el nombre que se asignó para identificar las pruebas para obtención y recopilación de datos necesarios para cumplir los objetivos planteados en este estudio.

Tabla 2

Sitios de muestreo

Lugar de recolección	Nombre de la muestra
Planta de tratamiento UTN	M1
Laguna de Yahuarcocha	M2

3.2.Métodos

Los métodos de investigación son técnicas que se utilizan para la recolección de datos o evidencias que permitan cumplir los objetivos planteados en esta investigación.

3.2.1. Cuantificación de la Biomasa de Lechuguines (*Eichhornia crassipes*)

La cuantificación de los residuos de lechuguín (*Eichhornia crassipes*), se realizó mediante la recolección de la planta en diferentes plantas de tratamiento de aguas residuales del Cantón Ibarra Provincia de Imbabura. En estos sitios de muestro se recolectó la planta entera manualmente para determinar el peso de hojas, tallos y raíces, de esta manera se determinó la disponibilidad de biomasa de lechuguín por metro cuadrado en sitios escogidos.

Identificación de Áreas. Para identificar las áreas óptimas del cultivo de lechuguines se utilizó el programa ArcGIS 10.5, realizando polígonos en las áreas mencionadas identificando áreas existentes de lechuguines como se observa en la Figura 4 y Figura 5.

Figura 4

Polígonos UTN

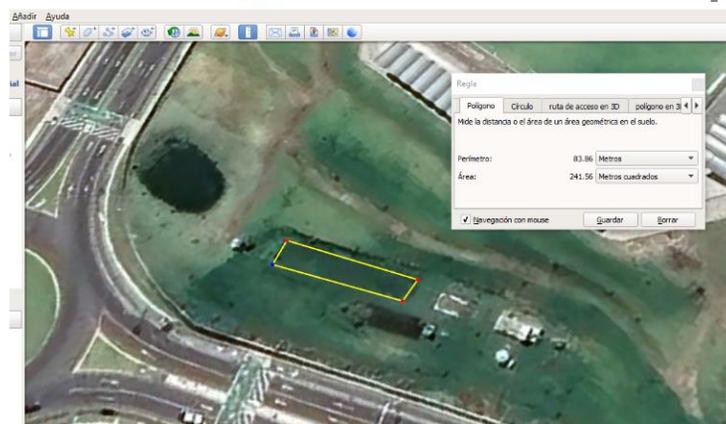
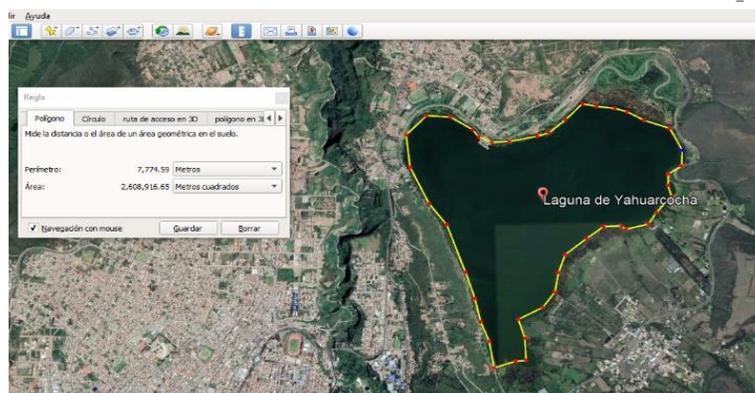


Figura 5

Polígonos Yahuarcocha



Limpieza. Para un correcto dimensionamiento y análisis del crecimiento de la planta se procedió a la limpieza del estanque con el fin de que los lechuguines vuelvan a realizar su proceso de reproducción. La limpieza realizada en cada una de las plantas de tratamiento de aguas residuales que seleccionaron se realizó el 65% de remoción de los cultivos de lechuguines de la planta de tratamiento de la Universidad Técnica del Norte, mientras que del segundo lugar que es el cuerpo acuífero de la Laguna de Yahuarcocha por ser de gran extensión no se procedió a realizar limpieza como se observa en la Figura 6 (H. Gutiérrez y De la Vara, 2008).

Figura 6

Crecimiento de la planta



Análisis de Tiempo. Para determinar el tiempo de reproducción de los cultivos de lechuguines se tomó como referencia una fecha específica a una hora determinada. En este caso se aplicó el método de observación los días sábados a las 10:00 horas, en esta hora del día las plantas se encuentran trabajando en su función de oxigenación del agua y la frecuencia de la observación del crecimiento se lo realizó cada 8 días.

Una vez realizado la limpieza se realizó visitas técnicas a la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Técnica del Norte y se esperó alrededor de 28 días posteriores para realizar la recolección de muestras húmedas y determinar el peso en húmedo ver Figura 7.

Figura 7

Tiempo de crecimiento del lechuguín



Selección del Área de Muestreo. Haciendo referencia el diseño experimental de Cofre el cual consistió en delimitar áreas aleatoriamente para proceder con el levantamiento de datos óptimos, en la selección del área de muestreo se escogieron tres áreas al azar de los cultivos de lechuguín de un área de 1 m^2 , tomando en cuenta el área del estanque de la planta de tratamiento UTN Gutiérrez y De la Vara (2008). Se procedió a realizar un instrumento recolector con tubos de poliuretano para la delimitación y arrastre de la planta en un área de 1 m^2 del sitio, como se puede ver en la Figura 8 (Coraspe & Tejera, 2008).

Figura 8

Delimitación de muestras de lechuguín



En la Tabla 3 se presenta la comparación de lechuguines de los dos sectores seleccionados para el estudio propuesto se han identificado 3 puntos de recolección.

Tabla 3

Puntos de recolección del lechuguín

	Planta de Tratamiento UTN	Lago Yahuarcocha
Punto de recolección 1	Coordenadas: 0°22'46.75" N -78°07'19.82" W	Coordenadas: 0°22'33.37" N -78°6'38.5" W
Punto de recolección 2	Coordenadas: 0°22'47.26" N -78°07'21.78" W	Coordenadas: 0°22'44.15" N -78°6'28.45" W
Punto de recolección 3	Coordenadas: 0°22'46.91" N -78°07'21.04" W	Coordenadas: 0°21'57.02" N -78°06'22.02" W

Cosecha de Lechuguines. Para la recolección del área establecida de muestreo se basó en la norma CENTS/TS 14780 (2005), para biocombustibles sólidos, el cual detalla que se debe realizar la recolección de toda la cobertura vegetal existente dentro de las áreas de estudio, este proceso se realizó con el uso de guantes e instrumentos anteriormente detallados como se observa en la Figura 9 (Gutierrez & De la Vara, 2008).

Figura 9

Recolección de la Planta de Lechuguín



Bioseguridad normas de protección. Es importante tomar en cuenta que la caracterización de residuos orgánicos es un proceso que involucra el contacto y manipulación de residuos que pueden ser tóxicos, por tanto, acatar medidas de bioseguridad es responsabilidad de los investigadores (Fondecyt-Conicyt, 2018); las normas establecidas por el Ministerio de Salud Pública del Ecuador (MSP) son:

- a) Protegerse mediante vacunas contra tétanos y hepatitis B;
- b) Trabajar con equipo de protección: mandil o terno de 2 piezas, gorro o casco, mascarilla, guantes, botas;
- c) En caso de corte o microtraumatismo, lavar la herida con agua y jabón y acudir al médico de emergencia;
- d) Lavar y desinfectar el equipo de protección personal;
- e) Acudir inmediatamente a urgencias en caso de exposición a desechos;

Análisis del Peso de Lechuguín. Para el proceso de pesaje de muestras recolectadas se realizó con el método directo de Cofre (2016), con un conglomerado de las plantas que se encuentran en 1m² del área seleccionada en un costalillo, y pesando mediante una balanza que proporciona datos en libras como se muestra en la Figura 10.

Figura 10

Toma de peso de la planta de lechuguín



El proceso de pesaje de cada uno de los componentes de planta (hojas, tallos y raíces) que fueron previamente separados se lo realizó mediante una balanza digital con capacidad de 20 kg. Inicialmente se depositaron las hojas en fundas ziploc para colocar sobre la balanza y obtener el

peso de las mismas y este proceso se lo repitió con los tallos y las raíces datos fueron posteriormente tabulados en Excel para cuantificar la producción promedio (Gutiérrez y De la Vara, 2008).

Evaluación de Disponibilidad. Para determinar la disponibilidad de cultivos de lechuguines se realizó mediante la interpretación de datos obtenidos por metro cuadrado delimitando la superficie de los lugares muestreados. Mediante una interpolación de datos se realizó polígonos de los puntos muestreados en metros cuadrados y se determinó la disponibilidad de cultivos de lechuguines determinando la cantidad de biomasa que se puede aprovechar para futuros proyectos medioambientales.

Obtención de Muestras de Lechuguines. Para esta investigación como se ha ido mencionando se definieron puntos específicos en la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Técnica del Norte y del lago Yahuarcocha donde se delimitó tres parcelas seleccionadas aleatoriamente para realizar los respectivos análisis, también a su vez se concretó que de los tres puntos seleccionados igualmente se procedió a la toma de 5 kg de plantas para análisis de laboratorio (Gutiérrez y De la Vara, 2008).

Reducción de Muestras. Una vez obtenido los residuos orgánicos de lechuguín se realizó un proceso de reducción de materia que consiste en secar y triturar las muestras para que puedan ser analizadas en laboratorio; el método de secado se basó en la técnica empleada por Muñoz et al., (2018) donde se tomaron tres muestras de biomasa de cada densidad de cultivo por cada uno de los sitios de ensayo de 300 g, para luego ser introducidos en una estufa a 110°C hasta que se sequen por completo. El proceso de secado por estufa se realizó tomando medidas de peso cada determinado tiempo (2 horas) con el objetivo de estabilizar la muestra en las condiciones antes mencionadas y de esta manera proceder con la realización de curvas de secado de cada una de las muestras de lechuguín recolectadas (Quinteros, 2020).

Los materiales que se utilizaron fueron bandejas de aluminio para la colocación de muestras de lechuguines, percatándose de que sean materiales resistentes y prácticos a la hora de ser maniobrados. Con una balanza digital se obtuvo el peso exacto de 300 g, y con el uso de guantes para horno se permitió tomar las muestras directamente de la estufa (Muñoz et al., 2018).

Secado de Muestras. Según Arévalo et al. (2010), durante el proceso de deshidratación

con el fin de realizar las respectivas curvas de secado y determinar la cantidad de humedad se aplicó la norma UNE-EN 14774-3 (2010), que determina el contenido de humedad del lechuguín según la siguiente ecuación.

$$\%CH = \left(\frac{P_i - P_s}{P_i} \right) * 100 \quad Ec [1]$$

Donde:

P_i = Peso inicial de la muestra (kg)

P_s = Peso seco de la muestra (kg)

$\%CH$ = Contenido de humedad de la muestra

3.2.2. Caracterización de Propiedades Proximales, Estructurales y Elementales del Lechuguín (*Eichhornia crassipes*) seco como Residuo.

Para determinar las diferentes propiedades fisicoquímicas del lechuguín se realizó mediante un análisis de humedad, lignina, cenizas y poder calorífico, se procedió a realizar un proceso de secado del cuerpo y las raíces de la planta en el horno de en el laboratorio de biomasa, posteriormente las muestras secas pasaron a un proceso de trituración en el molino para obtener residuos minúsculos que puedan ser usados para determinar sus propiedades y características.

Trituración de Muestras. Según Muñoz (2018), hizo la pulverización de la biomasa hasta alcanzar un tamaño de partículas de 0.2mm de las muestras que se encuentran secas, cabe recalcar que, en este estudio, se realizó la trituración por un molino de cuchillas marca Fritsch con una capacidad de trituración de tamaño mínima de 0.5 mm.

Con las muestras trituradas se procedió a la preparación de tres muestras de 300g cada uno de los sitios y puntos recolectados, se introdujeron en bolsas plásticas ziplock con una respectiva etiqueta para poder distinguir al ensayo correspondiente y consecutivamente enviar al Laboratorio de Química de la Universidad Central del Ecuador (UCE).

Análisis Elemental. El análisis elemental permitió determinar el contenido total de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre (C-H-O-N-S) presente en todo tipo de muestras orgánicas e inorgánicas, sólidas y líquidas, dicha técnica se basa en la completa e instantánea oxidación de la muestra, por medio de combustión con oxígeno puro a una temperatura aproximada a los 1000°C (Gutiérrez, 2019).

En el análisis ejecutado los productos de combustión son transportados mediante el gas portador por medio de un horno de reducción, donde se produce la separación de los diferentes elementos, finalizando con su paso por un detector de conductividad térmica, el cual origina una señal directamente proporcional a la concentración de cada uno de los componentes (Gutiérrez, 2019).

Los análisis respectivos fueron obtenidos por el Laboratorio de Química que pertenece a la Universidad Central del Ecuador (UCE) con lo cual se conoció los porcentajes de cada componente químico dentro de las muestras de lechuguines.

Análisis Proximal y Estructural. Se eligió el método TGA sobre NIR para el análisis estructural, un método más rápido, fácil de usar y menos costoso que las técnicas y métodos existentes con una precisión comparable o mejorada (Carrier et al., 2011).

Para el análisis proximal y estructural basados en el método del TGA, se envió muestras de lechuguines al Laboratorio Químico de la Universidad Central del Ecuador (UCE), donde toman una pequeña fracción de biomasa y colocan en un crisol, para introducirlo dentro de la máquina Mettler Toledo, obteniendo el peso por la balanza interna que posee; los parámetros de la desintegración térmica, comienza con la descomposición de hemicelulosa a una temperatura entre 200 y 400 °C, de celulosa entre 300 y 410 °C, y lignina desde 400 °C hasta 800 °C (Rueda y Tannous, 2017).

Este análisis tiene la finalidad de estudiar la relación de descomposición de biomasa con respecto a la temperatura, determinación de las características de volatilización y los parámetros cinéticos, tales como: la energía de activación y el factor pre-exponencial, así como la influencia de la temperatura y velocidad de calentamiento en el desarrollo de las reacciones de descomposición térmica y los mecanismos de reacción según menciona (Manals Cutiño et al., 2015).

Con el propósito de completar el análisis estructural se hizo uso del programa Originlab 2014 en el cual se introdujo los datos obtenidos por el análisis TGA enviados desde el laboratorio de la UCE, para obtención de los porcentajes de hemicelulosa, celulosa y lignina de las muestras de lechuguines.

Calorimetría. El análisis para la determinación de calorimetría está basado en

metodología en donde se tomó una muestra de 1 g de residuos de lechuguín triturado y pesados en una balanza de marca Sartorius, pero en este caso de estudio se hicieron muestras de 0.5 g ya que el crisol no tiene la capacidad de contener un gramo de biomasa triturada y el proceso de combustión con biomasa mayor a este valor puede causar daños y quemaduras a la banda que se encuentra en la parte interna de la bomba de combustión.

Para este análisis se realizaron de cada punto de muestreo tres ensayos diferentes, una vez pesados en el crisol fueron almacenados en una bomba de combustión con exceso de oxígeno a 440 psi e ingresado al calorímetro para el respectivo análisis (Muñoz, 2013). Los resultados obtenidos mediante el proceso de la bomba calorimétrica son obtenidos en el software del equipo LECO AC500.

Con este análisis permitió calcular la energía disponible de las muestras de lechuguines en base a la cantidad de áreas óptimas identificadas. De acuerdo con la metodología empleada por Muñoz (2013), indica una expresión para cuantificar el potencial energético tal como se presenta en la siguiente ecuación.

$$PE = AS \text{ (ha)} * M \left(\frac{\text{t}}{\text{ha.año}} \right) * PCI \left(\frac{\text{MJ}}{\text{t}} \right) \quad Ec [2]$$

Donde:

PE = Potencial energético

AS = Cantidad de áreas disponibles (ha)

M = Masa del residuo (t/ha.año)

PCI = Poder calorífico (MJ/t)

3.2.3. Definición de Tecnología Óptima para Producción de Bicomcombustible a Partir del residuo de Lechuguín (*Eichhornia crassipes*) de Plantas de Tratamiento.

Mediante comparación y análisis teórico, los datos obtenidos anteriormente se determinó la tecnología óptima para producción de biocombustible y viabilidad de realizar este proceso en las diferentes plantas de tratamiento de aguas residuales de la Provincia de Imbabura.

Según Rodríguez (2017), indica que existen varios reprocesos para la obtención de azúcares de (*Eichhornia crassipes*) tales como la hidrólisis enzimática o química. A partir de estos procesos

el azúcar que se obtiene se fermenta produciendo el etanol y dióxido de carbono, posteriormente se pasa por el proceso de destilación cuyo producto es el bioetanol.

Los criterios ideales a tener en cuenta a la hora de analizar el potencial para la producción de biocombustibles de un cultivo o biomasa lignocelulósica en particular.

Para el presente trabajo se escogió la técnica proceso analítico de jerarquización (AHP) de comparaciones pareadas en conjunto con una matriz de decisión en el cual se evaluó tres tipos de tecnologías en el mercado de las energías renovables, la cual fue desarrollada por (Saaty, 2008).

A través de esta metodología se eliminan juicios inconsistentes realizando una verificación de seguridad; además plantea una serie de pasos para tomar una decisión de manera coherente y organizada Tabla 4 (Quiroz, 2022).

Tabla 4

Comparación de reciprocidad e importancia

Intensidad de Importancia	Definición
1	Poca Importancia
2	Importancia Moderada
3	Fuerte Importancia
Valores Recíprocos	1 = Igual Importancia
	3 = Importancia Moderada
	5 = Fuerte Importancia
	7 = Muy Fuerte Importancia
	9 = Importancia Extrema

Briquetado. Las briquetas, son una densificación de biomasa que han sido usadas en muchos países por varios años. Una de las principales razones para el desarrollo de las briquetas a nivel industrial, ha sido la eficiencia de aprovechamiento energético, el ahorro que infiere en lugar de aplicar diversos tipos de combustión dependiendo del material. Al ser más densas las briquetas tienden a desprender más energía que si se fuera a quemar biomasa solida normal (Rodríguez et al., 2017).

Hidrolisis Enzimática. Existen dos métodos para la extracción de azúcares, la fermentación y sacarificación separado y la fermentación y sacarificación simultanea; posee muchas estructuras de celulosa cristalinas y es un inconvenientes en la hidrólisis de esta planta, ya

que químicamente se dificulta su proceso, se optó por el análisis de sacarificación que es el proceso más fácil para obtención de azúcares de los lechuguines (Rodríguez et al., 2017).

Digestión Anaerobia. Los procesos de digestión anaerobia corresponden a fermentación mediante bacterias anaerobias u hongos, pueden producir biogás que a su vez reacciona con otras enzimas llamadas biomasa, también están presentes en la levadura, produciendo el etanol y el dióxido de carbono, es decir se analizó el proceso de digestión mediante la matriz de decisión (Rodríguez et al., 2017).

Una vez determinado las tecnologías a analizar, se identificó los factores que incidieron en cada tecnología escogida, se procedió a dar valores de importancia lo que permitió obtener la puntuación ponderada, para briquetado se analizan factores importantes como humedad, carbono, nitrógeno, azufre y poder calorífico; para hidrólisis enzimática los elementos más incidentes son hemicelulosa, celulosa y lignina; mientras que para digestión anaerobia se consideran los factores más importantes a la hemicelulosa, celulosa (Quiroz, 2022).

3.3. Materiales y Equipos

A continuación, en la Tabla 5 se detallan los materiales manejados para los estudios realizados y en la Tabla 6 se describen los equipos utilizados en este proyecto de investigación.

Tabla 5

Descripción de materiales

Materiales	Cantidad
Guantes	1
Flexómetro	1
GPS	1
Fundas Ziplock	20
Piola	1

Tabla 6

Descripción de equipos

Equipos	Cantidad
GPS	1
Balanza (gr)	1
Estufa (horno)	1
Calorímetro	1
Molino de trituración	1

Capítulo IV

Resultados y Discusión

En el siguiente capítulo se expone los resultados obtenidos durante el tiempo de ejecución del presente trabajo de investigación en base a los objetivos específicos propuestos en donde se detalla mediante tablas y gráficos los datos conseguidos.

4.1. Biomasa de lechuguines (*Eichhornia crassipes*) en plantas de tratamiento

4.1.1. *Peso Húmedo*

El peso húmedo obtenido de las muestras de lechuguín recolectado se detalla en las tablas 7 y 8 adjuntas, donde se presenta la cantidad en kilogramos de plantas por un metro cuadrado cosechado, dando como resultado una desviación estándar de 3.86 para la UTN y 20.59 para Yahuarcocha, lo que implica que existe una mayor dispersión de los datos por ser un cuerpo acuífero de mayor dimensión.

Tabla 7

Evaluación del peso húmedo de los lechuguín UTN

Planta de tratamiento UTN	
Puntos	Lechuguín UTN (kg)
1	49.89
2	53.97
3	46.26
Total recolectado	150.14

Tabla 8

Evaluación del peso húmedo de los lechuguín Yahuarcocha

Laguna de Yahuarcocha	
Puntos	Lechuguín YAH (kg)
1	41.27
2	68.49
3	28.12
Total recolectado	137.89

4.1.2. Georreferenciación

Mediante la georreferenciación en el programa Arcgis 10.8 y Google Earth, se obtuvo los siguientes resultados que se detallan en la Figura 11 y Figura 12.

Figura 11

Georreferenciación de la planta de tratamiento de la UTN

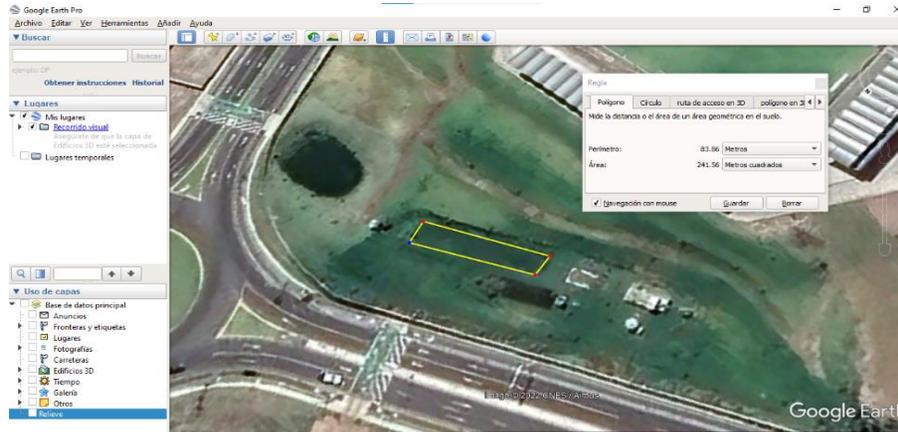
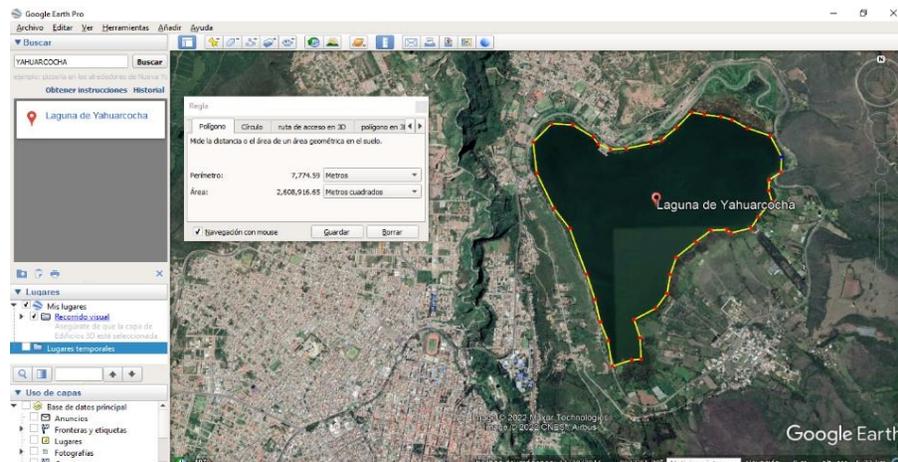


Figura 12

Georreferenciación de Yahuarcocha



Una vez realizado el dimensionamiento y obtenidos los datos de disponibilidad se realizó una comparación de las áreas muestreadas como se observa en la Tabla 9.

Tabla 9

Comparación de resultados obtenidos en las plantas de tratamiento

Planta de Tratamiento UTN		Lago Yahuarcocha	
Área total estanque	175 m ²	Área total lago	1959715 m ²
Cosecha húmedo total	150.14 kg	Cosecha húmedo total	137.89 kg
Disponibilidad húmeda	8757.00 kg ≈ 8.76 ton	Disponibilidad húmeda	90075033.78 kg ≈ 90075.03ton

4.1.3. Peso Seco

Se determinó el peso seco de muestras las cuales realizadas la limpieza del lodo de las raíces proporcionó un total de 8 libras, para el secado en el horno durante 24 horas, en las Figuras 13, 14, y 15 de la planta de tratamiento UTN y Figuras 16, 17 y 18 para la planta de tratamiento Yahuarcocha.

Figura 13

Curva de secado de lechuguín punto 1 UTN

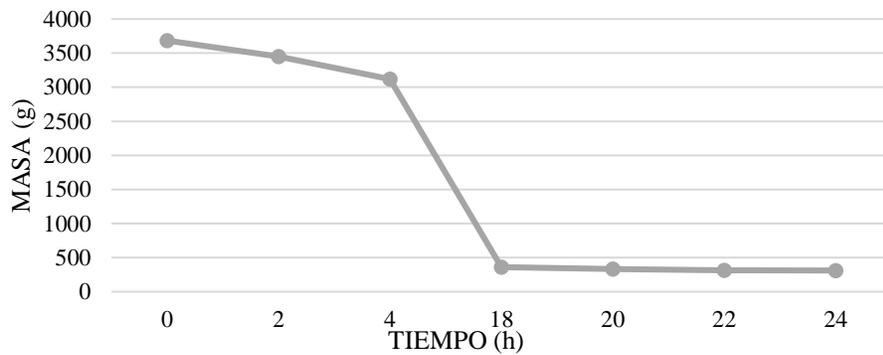


Figura 14

Curva de secado de lechuguín punto 2 UTN

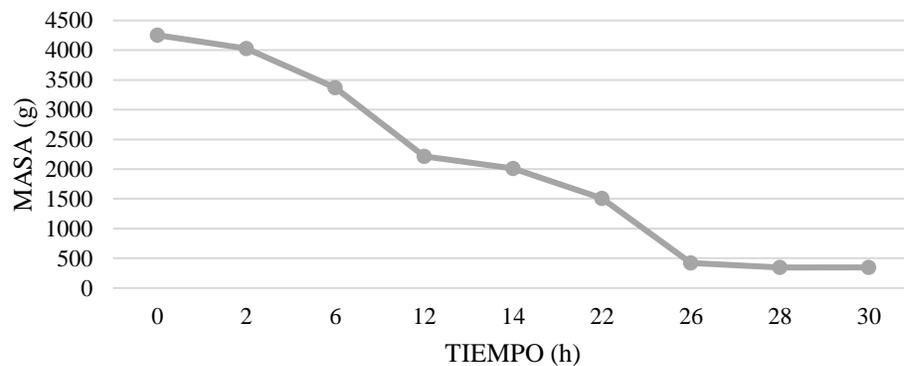


Figura 15

Curva de secado de lechuguín punto 3 UTN

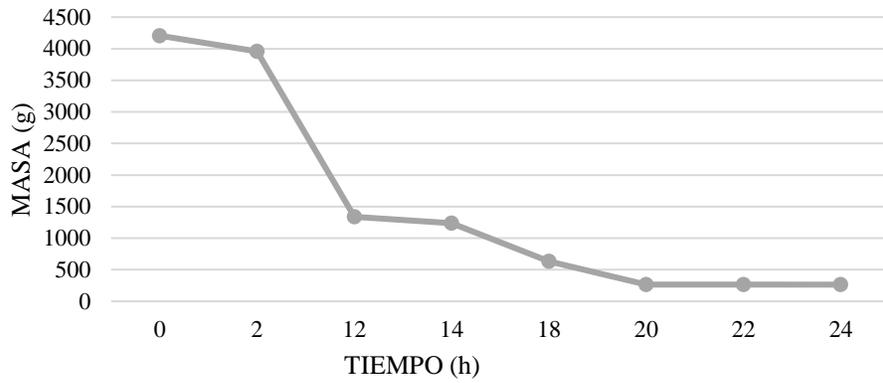


Figura 16

Curva de secado de lechuguín punto 1 Yahuarcocha

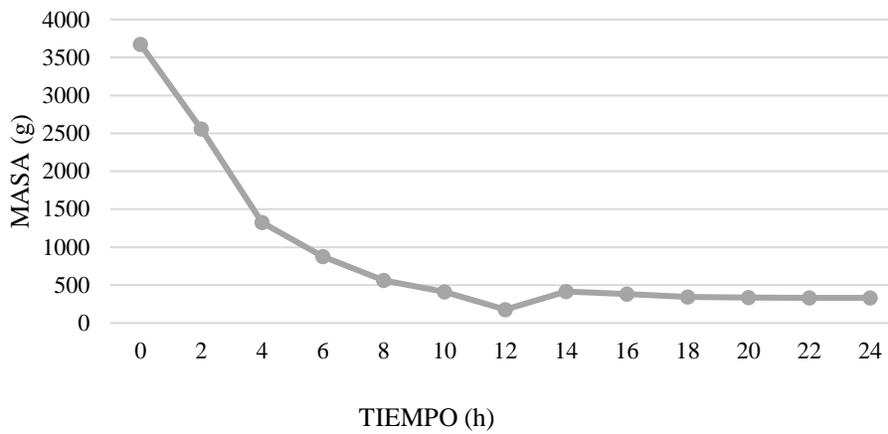


Figura 17

Curva de secado de lechuguín punto 2 Yahuarcocha

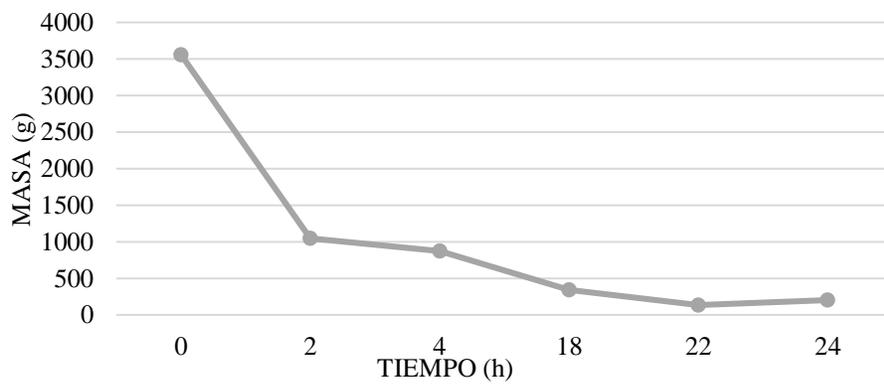
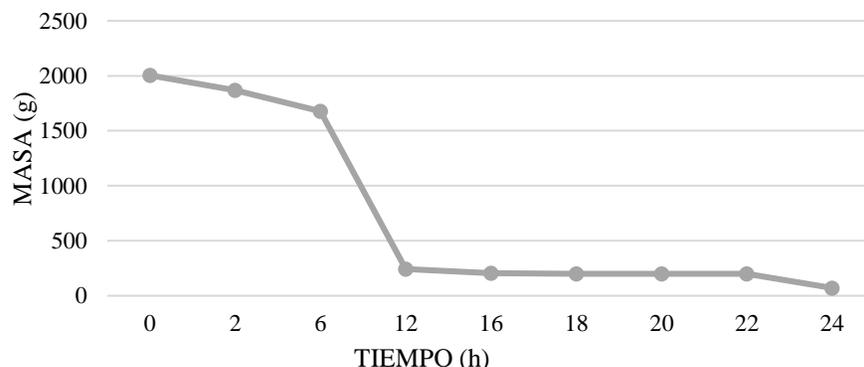


Figura 18

Curva de secado de lechuguín punto 3 Yahuarcocha



Para las curvas de secado de las muestras de Yahuarcocha al igual que las muestras de la planta de tratamiento de la UTN, se observó que la pérdida en las primeras horas de secado es acelerada y se reduce su humedad considerablemente durante las próximas horas, sin embargo, transcurridas 6 horas de secado se convierte en una pérdida de humedad lenta, ya que se empieza con la estabilización de peso.

Una vez estabilizado el proceso de secado de muestras, se obtuvo la humedad extraída de la planta de tratamiento UTN fue cerca del 92% y la Yahuarcocha del 90%, permitiendo una comparación con Solis & Vásquez (2019), extrajo contenido de humedad cerca del 90%, en el presente estudio se demuestra alto contenido de humedad que posee el lechuguín, resultados detallados en la Tabla 10 que corresponde a la planta de tratamiento UTN y la Tabla 11 que corresponde a la planta de tratamiento Yahuarcocha.

Tabla 10

Humedad Extraída - Planta De Tratamiento UTN

Peso seco total (hojas, tallos y raíces) (g)	922.95	0.348
Pi (peso inicial)	Peso húmedo (kg)	12.143
Ps (peso seco)	Peso seco (kg)	0.923
%Ch contenido humedad	100%	92.40

Tabla 11*Humedad extraída - Planta de tratamiento YAH*

Peso seco total (hojas, tallos y raíces) (g)	916.94	0.92
Pi (peso inicial)	Peso húmedo (kg)	9.146
Ps (peso seco)	Peso seco (kg)	0.917
%Ch contenido humedad	100%	90.0

4.2. Propiedades proximales, estructurales y elementales del lechuguín (*Eichhornia crassipes*) seco como residuo

Las pruebas realizadas permitieron conocer las características físicas y químicas presentes en el lechuguín seco (*Eichhornia crassipes*) de plantas de tratamiento de aguas residuales empleados en este estudio, se detallan en los siguientes resultados.

4.2.1. Análisis Elemental de Lechuguines (*Eichhornia crassipes*)

Los resultados del análisis elemental de muestras secas de lechuguines reflejaron los contenidos de carbono (C), nitrógeno (N), hidrógeno (H) y azufre (S) que se presentan en la Tabla 12 correspondiente a la UTN y en la Tabla 13 correspondiente en Yahuarcocha.

Tabla 12*Análisis de elementos presentes en Planta de Tratamiento UTN*

Planta de tratamiento de aguas residuales UTN				
Puntos	N%	C%	H%	S%
P1-UTN	4.09	38.915	5.976	0.904
P2-UTN	3.518	39.87	7.192	0.757
P3-UTN	2.99	40.47	8.42	0.82

Tabla 13*Análisis de elementos presentes en Yahuarcocha*

YAHUARCOCHA				
PUNTOS	N%	C%	H%	S%
P1-YAH	1.948	33.997	5.37	0.403
P2-YAH	1.750	36.922	6.55	0.390
P3-YAH	3.24	34.42	4.95	0.40

El análisis realizado determinó la composición elemental de biomasa identificando los porcentajes de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre; tomando en cuenta que estas propiedades tienen variaciones dependiendo del material y métodos utilizados (Lozada, 2019). Los resultados obtenidos del punto más incidente en la planta de tratamiento UTN es la muestra P3-UTN con un porcentaje de nitrógeno de 2.99%, carbono 40.47%, hidrógeno de 8.42% y azufre de 0.82%, por otra parte en la laguna de Yahuarcocha los porcentajes son; nitrógeno 1.75%, carbono de 36.92%, hidrógeno de 6.55% y azufre de 0.39%, demostrando que en la muestra P3-YAH es la más incidente, estos resultados son afines al estudio de Bergier (2012), obtuvo bajo contenido nitrógeno con valores de 3.15% y de azufre menores al 1% los cuales se puede decir que existe una relación de comparación a los resultados de la presente investigación.

4.2.1.1. Relación Carbono – Nitrógeno

Para la relación existente de elementos Carbono- Nitrógeno (C/N) de lechuguines los valores se detalla en la Tabla 14 que corresponde a puntos de la planta de tratamiento UTN, y la Tabla 15 que corresponde a Yahuarcocha el cual puede variar entre un sustrato y otro.

Tabla 14

Relación C/N - UTN

UTN - Relación C/N	
P1-UTN	10/1
P2-UTN	11/1
P3-UTN	13/1

Tabla 15

Relación C/N - YAH

YAH - Relación C/N	
P1-YAH	17/1
P2-UTN	21/1
P3-UTN	12/1

Con estos datos se logró determinar la relación existente del C/N para procesos de biodegradación, dando como resultado la relación C/N para UTN es el punto 3 y para Yahuarcocha

el punto 2 demostrando que hay presencia considerable de carbono, componente más importante que afecta el proceso de descomposición, considerando que, es utilizado como fuente de energía por los microorganismos; mientras el nitrógeno utilizado para síntesis proteica. Con esto se identifica los resultados de la relación es similar a los estudios de Rodríguez (2017), en el cual el análisis C/N correspondió de 25/1 es decir 1 molécula de nitrógeno en 25 modelos de carbono.

4.2.2. Análisis Proximal y Estructural de Lechuguines (*Eichhornia crassipes*)

Los resultados del análisis termogravimétrico o TGA permitió la elaboración de curvas de tasa de conversión como función de la temperatura en °C mostrado en el eje x, mientras en el eje y está la derivada TGA en mg/s para cada una de las muestras del lechuguín seco de los diferentes puntos de la planta de tratamiento de aguas residuales UTN y la laguna de Yahuarcocha.

En el cálculo del área bajo la curva de hemicelulosa permitió determinar los porcentajes lignocelulósicos de cada muestra evaluada, los siguientes resultados para la muestra P1-UTN como muestra la Figura 19 es de 0.365 mientras, el área bajo la curva de la celulosa es de 1.120 y la lignina 0.105. Para la muestra del P2-UTN ilustrada en la Figura 20, el área bajo la curva de la hemicelulosa es de 0.679 de la celulosa es de 2.080 y la lignina de 0.747 respectivamente. Para la muestra P3-UTN como se detalla en la Figura 21, la hemicelulosa posea un área bajo la curva de 0.363 para la celulosa de 1.155 y la lignina de 0.301.

Estos datos obtenidos presentaron una similitud con el estudio realizado por Vilca (2022), en el cual los datos del área bajo la curva fueron cercanos para determinar contenido lignocelulósico.

Figura 19

Análisis del porcentaje de lignocelulósicos Punto 1- UTN

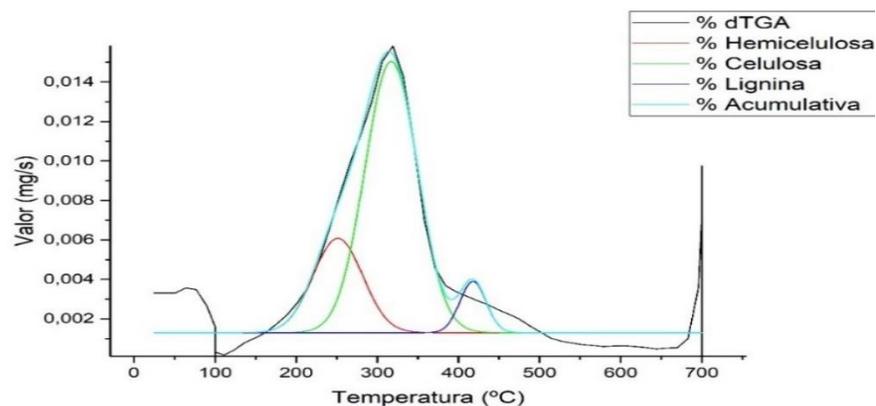


Figura 20

Análisis del porcentaje de lignocelulósicos Punto 2- UTN

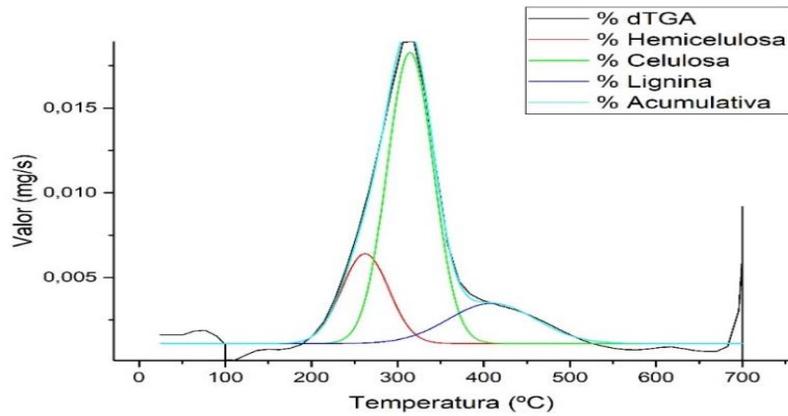
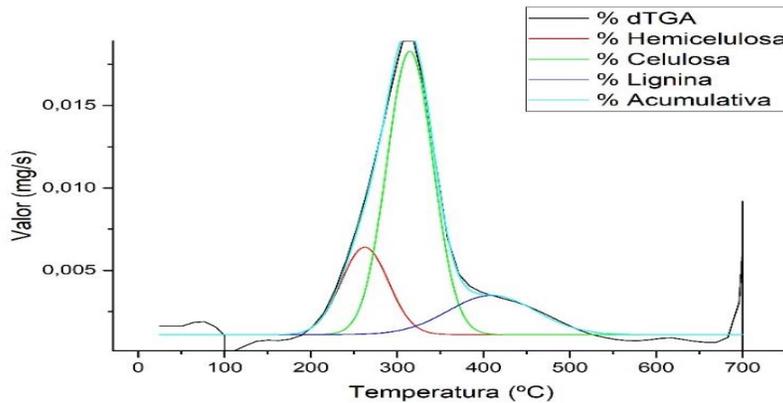


Figura 21

Análisis del porcentaje de lignocelulósicos Punto 3- UTN



Para las muestras de Yahuarcocha el área bajo la curva de la muestra P1-YAH detallada en la Figura 22 es de 0.36794 para la hemicelulosa, 1.113 para la celulosa y 0.139 para la lignina. En el caso de la muestra P2-YAH como se indica en la Figura 23 es de 0.415 para la hemicelulosa, de 1.223 para la celulosa y de 0.213 para la lignina. Finalmente, el área bajo la curva para muestra P3-YAH como se ilustra en la Figura 24 de la hemicelulosa es de 0.389 para la celulosa de 1.525 para la hemicelulosa y de 0.212 para la lignina.

Figura 22

Análisis del porcentaje de lignocelulósicos Punto 1- YAH

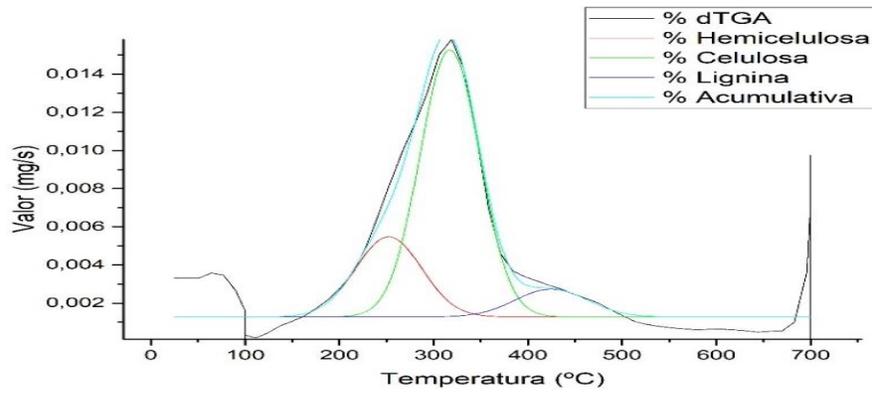


Figura 23

Análisis del porcentaje de lignocelulósicos Punto 2- YAH

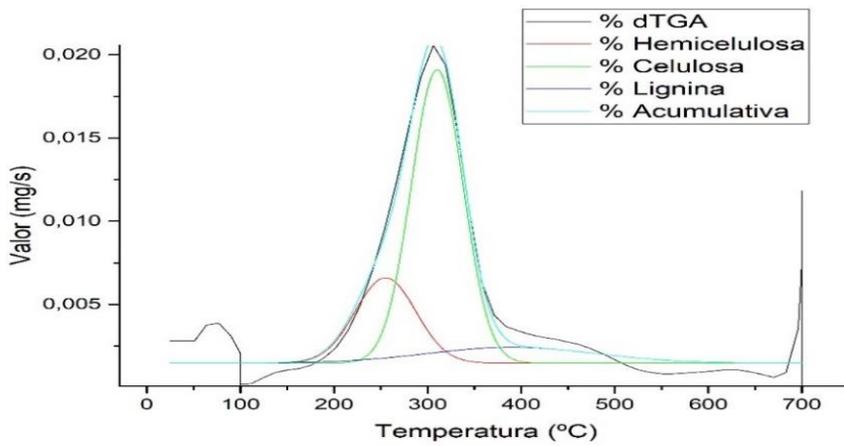
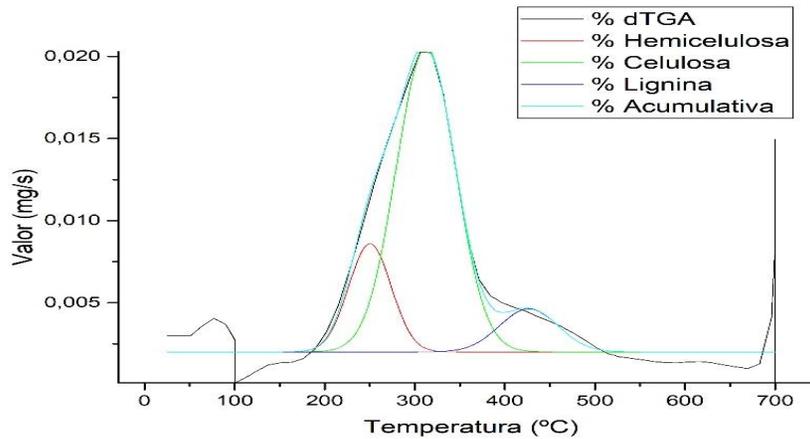


Figura 24

Análisis del porcentaje de lignocelulósicos Punto 3- YAH



La hemicelulosa, celulosa y lignina obtenidas a partir de los análisis realizados se puede observar valores en la Tabla 16 correspondiente a UTN y Tabla 17 de Yahuarcocha. Con respecto al lechuguín seco extraído de aguas dulces la composición estructural es de alrededor de 48% en el caso de la hemicelulosa, 18% celulosa y 3.85% en lignina según el trabajo realizado por (Ríos & Ospino, 2012).

Según Suarez et (2013), los porcentajes de hemicelulosa corresponden al 35%, 25% de celulosa y 10% de lignina para el jacinto de agua o lechuguín (*Eichhornia crassipes*), también existen variaciones con otros autores como son Rodríguez (2017), donde la hemicelulosa tiene porcentajes de 30.8%, 28% de celulosa y 17.44% de lignina y finalmente Quiroz (2022), identifica el contenido de hemicelulosa corresponde al 37%, celulosa 65% y lignina de 16% en muestras con hidrocarburos absorbidos lo que se define que si se presenta un rango relacionado de datos.

Tabla 16

Porcentaje de hemicelulosa, celulosa y lignina UTN

Planta de tratamiento UTN			
Punto	Hemicelulosa	Celulosa	Lignina
P1-UTN	22.97%	70.41%	6.62%
P2-UTN	19.39%	59.30%	21.31%
P3-UTN	19.96%	63.49%	16.55%
Promedio	20.77%	64.40%	14.83%

Tabla 17

Porcentajes de hemicelulosa, celulosa y lignina- Yahuarcocha

Planta De Tratamiento Yahuarcocha			
Punto	Hemicelulosa	Celulosa	Lignina
P1-YAH	22.71%	68.71%	8.58%
P2-YAH	22.43%	66.03%	11.54%
P3-YAH	18.30%	71.70%	10.00%
Promedio	21.45%	68.81%	10.04%

En términos generales tomando en cuenta ejemplos de anteriores investigaciones según Rodríguez (2017), la hemicelulosa se encuentra en rangos adecuados que es un componente

fácilmente hidrolizable pero con una principal desventaja que es de difícil procesamiento para obtener alcohol, a su vez existe altos contenidos de celulosa otro componente de gran importancia para producción de azúcares, y puede ser tratado mediante procesos de obtención como hidrólisis enzimática que da resultado bioetanol; los bajos contenidos de lignina que presenta es favorable ya que da como paso a procesos de biodigestión anaerobia para producción de biogás. Al obtener estos rangos bajos de lignina (10 %) y rangos altos de hemicelulosa (33 %), en comparación con otro tipo de fuentes en donde se presenta rangos (15 % - 30 % de lignina y 20 % - 40% de hemicelulosa) se puede definir el proceso de fermentación para producción de bioetanol y biogás, es beneficioso.

4.2.3. Calorimetría

Con el análisis calorimétrico del lechuguín realizado, los valores obtenidos del análisis de poder calorífico de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Técnica del Norte como se describe la Tabla 18 y de Yahuarcocha en la Tabla 19 que son los dos lugares muestreados se los detalla a continuación.

Tabla 18

Poder calorífico lechuguín UTN

Planta de tratamiento UTN	
P. MUESTREO	PCS (MJ/kg)
P1-UTN	16.39
P2-UTN	15.97
P3-UTN	16.32
Promedio	16.22

Tabla 19

Poder calorífico Yahuarcocha

YAHUARCOCHA	
P. MUESTREO	PCS (MJ/kg)
P1-YAH	13.20
P2-YAH	14.14
P3-YAH	13.76
Promedio	13.69

El análisis de datos se hicieron en base a la literatura de Solis y Vásquez (2019) y Pereira y Marinho (2015), indicando valores de poder calorífico con valores entre 15.87 MJ/kg y 15.52 MJ/kg, los datos analizados de investigación se encuentran un rango parejo de 13.69 MJ/kg para

Yahuarcocha y de 16.22 MJ/kg para la planta de tratamiento UTN es decir los datos arrojados son gracias a los sitios donde se realizó el muestreo, los cuales presentan aguas residuales domésticas y el lago es un cuerpo acuífero con putrefacción del agua.

4.2.4. Análisis Estadístico

El análisis de varianza de la planta de tratamiento UTN y Yahuarcocha del poder calorífico se detalla en la Tabla 20.

Tabla 20

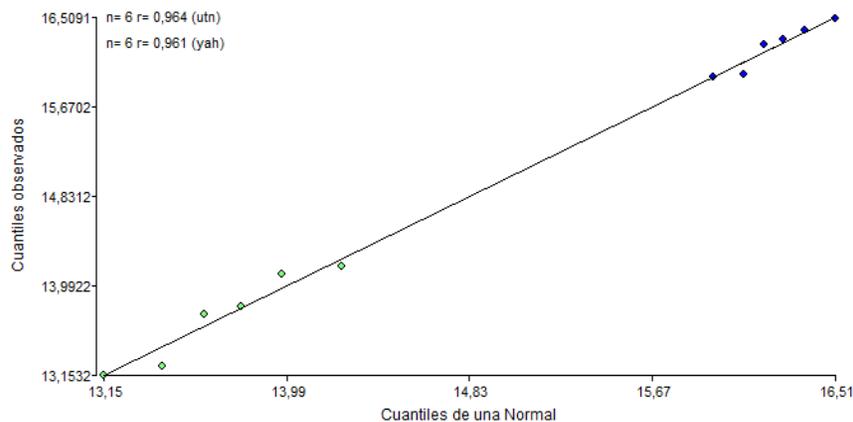
Datos en INFOSTAT

PUNTO MUESTREO	UTN CV (MJ/kg)	YAH CV (MJ/kg)
PUNTO 1	16.4698	13.2348
PUNTO 1	16.3008	13.1580
PUNTO 2	15.9548	14.1731
PUNTO 2	15.9793	14.0991
PUNTO 3	16.2521	13.7962
PUNTO 3	16.3852	13.7263

Prueba de normalidad (Q- Q plot) UTN y YAH. En la Figura 23 se muestra los datos de las muestras tomadas en la planta de tratamiento UTN con valor de r de 0.964, mientras en la laguna de Yahuarcocha se puede apreciar los datos poseen un valor de r de 0.961, indica existencia de una correlación de los datos obtenidos, en los análisis permitió tener una relación homogénea de la distribución de las plantas de lechuguines que se observa en la Figura 25.

Figura 25

Q- Q plot UTN y YAH



Prueba de Shapiro. En la tabla 21 se muestra los resultados de la prueba de Shapiro Wilks, dando como resultado para la planta de tratamiento de la UTN un p igual a 0.3773 y para la planta de tratamiento de Yahuarcocha un p valor de 0.2948.

Tabla 21

Tabla de Shapiro

Variable	N	Media	D.E.	W*	p (unilateral D)
UTN	6	16.23	0.22	0.89	0.3773
YAH	6	13.70	0.43	0.87	0.2948

Análisis de Varianza ANOVA Este análisis se llevó a cabo con un 95%. En la Tabla 22 se detalla el resultado el cual indica que existe diferencias significativas entre las repeticiones del poder calorífico obteniendo un valor de $p=0.0335$.

Tabla 22

Análisis ANOVA UTN

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	0.20	2	0.10	12.93	0.0335
Error	0.02	3	0.01		
Total	0.23	5			

En la Tabla 23 se detalla el resultado el cual indica que existe diferencias significativas entre las repeticiones del poder calorífico obteniendo un valor un $p= 0.0009$.

Tabla 23

Análisis ANOVA YAH

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	0.90	2	0.45	165.14	0.0009
Error	0.01	3	0.0027		
Total	0.09	5			

4.3.Tecnología óptima para producción de bicomcombustible a partir del residuo de lechuguín (*Eichhornia crassipes*) de plantas de tratamiento

El lechuguín satisface los criterios para producción de bioenergía siendo permanente, tiene una alta cantidad de plantas disponibles, no es cultivo y es biodegradable por el alto contenido de

celulosa; sin embargo, su fuerte desventaja es que posee elevado contenido de agua del 90 %, implicando que puede convertirse en un obstáculo para procesos de recolección y procesamiento.

Es decir que según Rodríguez (2017), el proceso de briquetado ha llegado a tener eficiencia energética cerca del 28.17% mientras el carbón tiene eficiencia de 31.29% lo cual confirman la posibilidad de utilizar briquetas de lechuguines a pesar que el poder calorífico es menor al carbón mineral y el carbón de madera (Rodríguez et al., 2017).

En una comparación de resultado se puede definir la tecnología de hidrólisis enzimática se obtiene mayores resultados de eficiencia para producción de azúcares mediante procesamiento de hongos; el promedio de producción de 55.303 g/l, después paulatinamente empezaba a disminuir (Suarez et al., 2013). Las sustancias de hojas y tallos por tener celulosa y hemicelulosa más lignina y ceniza, son fáciles de convertir en biogás, por bacterias anaeróbicas se puede obtener por medio de fermentación con levaduras, pero las raíces son más difíciles de procesar debido a que contiene gran cantidad de metales pesados (Rodríguez et al., 2017). La calificación para las tecnologías propuestas de biocombustible sólido, bioetanol y biogás realizó a través de una matriz decisión la cual detalla la importancia de los elementos implicados en diferentes procesos los que se muestra en Tabla 24.

4.3.1. Selección de Tecnología

Una vez realizada la matriz de comparación, se definió como la tecnología más óptima para producción de bioenergía es el bioetanol por medio de Hidrólisis Enzimática, para producción de azúcares, proceso más eficiente que aprovecha la totalidad los contenidos de celulosa y hemicelulosa de la composición del residuo de lechuguín mediante la evaluación de los criterios más importantes se detalla en la Tabla 24.

Tabla 24

Matriz de comparación de multicriterio

Variables	Tecnología 1	Tecnología 2	Tecnología 3	
	Briquetado	Hidrólisis Enzimática	Digestión Anaerobia	Peso de Criterio
Briquetado	1	7	5	0,33
H. Enzimática	7	1	5	0,35
D. Anaerobia	5	7	1	0,31

Nota. 1= Igual Importancia; 3= Importancia Moderada; 5= Fuerte Importancia; 7= Muy Fuerte Importancia.

Tabla 25*Matriz de decisión de tecnologías*

Criterio	Importancia	Puntuación ponderada			Justificación de puntuación	Puntuación ponderada		
		Briquetado	Hidrólisis Enzimática	Digestión Anaerobia		Briquetado	Hidrólisis Enzimática	Digestión Anaerobia
<i>Carbón</i>	2	7	3	3	Alto porcentaje de Carbón	14	6	6
<i>Nitrógeno</i>	2	5	3	3	Bajo contenido de Nitrógeno	10	6	6
<i>Azufre</i>	3	7	5	5	Bajo contenido de Azufre	21	15	15
<i>Hemicelulosa</i>	2	1	5	7	Alto contenido de hemicelulosa	2	10	14
<i>Celulosa</i>	3	3	9	7	Alto contenido de celulosa	9	27	21
<i>Lignina</i>	3	5	9	5	Bajo contenido de lignina	15	27	15
<i>Poder Calorífico</i>	3	7	5	5	Alto poder calorífico	21	15	15
<i>Humedad</i>	3	7	5	5	Alto contenido de humedad	21	15	15
Puntuación total		42	44	40	Puntuación total ponderada	113	121	107

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

El lechuguín (*Eichhornia crassipes*) cultivados en plantas de tratamiento de aguas residuales cuenta con gran disponibilidad de plantas, para la planta de tratamiento de aguas residuales de la UTN es de 8.76 ton, mientras que para la laguna de Yahuarcocha alcanzaría un total de 90075.03 ton.

En los análisis proximales realizados a las muestras secas de lechuguines se obtuvo altos índices de hemicelulosa con 33%, celulosa con 60% y en una pequeña cantidad de lignina menores al 14% es decir, son óptimas para futuros proyectos de elaboración de bioenergía de residuos secos de lechuguines.

El contenido hemicelulósico definió la mejor tecnología de aprovechamiento que es hidrólisis enzimática, proceso más económico y eficiente para producción de biocombustibles y pueden competir con tecnologías de combustibles fósiles.

5.2. Recomendaciones

La toma de muestras se debe realizar en más lugares estratégicos, con al menos 5 repeticiones para de esta forma determinar de mejor manera la cuantificación de lechuguines y mejorar la precisión del tiempo de crecimiento de las plantas.

Se recomienda que la caracterización de las propiedades proximales, estructurales, elementales y análisis calorífico de las muestras, se realice con más repeticiones (al menos 10 por muestra) para determinar valores precisos de los contenidos de hemicelulosa, celulosa, lignina y poder calorífico y asegurar así los valores estándares en su composición.

La tecnología ayudó a determinar el proceso a usar para el aprovechamiento de lechuguines, se recomienda que para su selección se defina que bioenergía se desea obtener y de esa forma indagar en procesos de obtención

Referencias

- Arévalo, O. A. J., De, M. A., Marín, C., Martínez, A. E., & Trujillo, M. (2010). *Derechos Reservados © 2010, SOMIM*.
- Asamblea constituyente. (2008). *Constitución de la Republica del Ecuador 2008*.
www.lexis.com.ec
- Azcón-Bieto, J., & Talón, M. (2003). *Fundamentos de fisiología vegetal*. In McGrawHill.
- Balat, M. (2011). *Production of bioethanol from lignocellulosic materials via the biochemical pathway: A review*. *Energy Conversion and Management*, 52(2), 858–875.
<https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2010.08.013>
- Brodeur, G., Yau, E., Badal, K., Collier, J., Ramachandran, K. B., y Ramakrishnan, S. (2011). *Chemical and physicochemical pretreatment of lignocellulosic biomass: a review*. *Enzyme Research*, 2011(1). <https://doi.org/10.4061/2011/787532>
- Carcelén, J., y Izquierdo, A. (2022). *Vista de Energía geotérmica en Ecuador, condiciones actuales y necesidad de una legislación específica* | Iuris Dictio.
<https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/iurisdictio/article/view/2527/3056>
- Carrier, M., Loppinet, A., Denux, D., Lasnier, J., Ham, F., y François, C. (2011). *Thermogravimetric analysis as a new method to determine the lignocellulosic composition of biomass*. *Thermogravimetric Analysis as a New Method to Determine the Lignocellulosic Composition of Biomass*, 298–307.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0961953410003314>
- Carrillo, L. (2004). *Energía de Biomasa* (2004 Edición del autor, S.S. Jujuy (ed.)).
- Coraspe, H., & Tejera, S. (2008). *Procedimiento para la toma de muestras de suelos*. Fonaiap, 1.
http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/FonaiapDivulga/fd54/suelos.htm
- Donoso, D. (2015). *Manejo del Material Vegetal Lechuguin (Eichhornia crassipes) y Lenteja de Agua (Lemna sp) Generados en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la Parroquia de Chaltura*.
- Espinoza, J., y León, J. (2012). *Regulación para incentivar las energías renovables en Ecuador*.
- Fernández, J. (2007). *Energía de la biomasa FENERCOM*.
<https://www.fenercom.com/publicacion/energia-de-la-biomasa-2007/>
- Fernández, L., Montiel, J., Millán, A., y Badillo, J. (2016). *Producción de Biocombustibles a*

- Partir de Microalgas. Ra Ximhai*, 8(3).
<http://www.revistas.unam.mx/index.php/rxm/article/view/53849>
- Flores, F., Ramos, R., Ramos, F., y Ramos, M. (2019). *Globalización, innovación tecnológica y pobreza. Aproximación a las nueve conceptualizaciones en Latinoamérica. Espacio Abierto*, Vol. 21, Núm. 3, julio-septiembre, 2012, pp. 543-556 Universidad del Zulia, Venezuela
- Fondecyt-Conicyt. (2018). *Bioseguridad y riesgos asociados. Fondecyt-Conicyt*, 98.
<https://www.conicyt.cl/pia/files/2019/10/Manual-de-Normas-de-Bioseguridad.pdf>
- Fraga, A. (2021). *Evaluación del Potencial Energético del Nopal (Opuntia ficus-indica (L.) Miller) como Alternativa para la Producción de Biogás en la Provincia de Imbabura*. *Gastronomía Ecuatoriana y Turismo Local*, 1(69), 5–24.
- Freire, S., & Urtubey, E. (2020). *Sistemática de Embryophyta. Sistemática de Embryophyta*.
<https://doi.org/10.35537/10915/86091>
- Fund Global Nature. (2004). *Restauración de Humedales – Manejo Sostenible de Humedales y Lagos Someros Manual para la Elaboración de un Plan de Gestión*.
- Garzón, C. (2010). *Evaluación de alternativas de generación de electricidad desde el punto de vista de su impacto ambiental, para sectores no conectados a redes eléctricas*.
- Gorjian, S. (2017). *An Introduction to the Renewable Energy Resources*.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.27055.53928>
- Gualle, M. (2021). “*Evaluación de la Producción de Biogás utilizando los Residuos Orgánicos del Mercado Amazonas de Ibarra Mediante Digestión Anaerobia*” Trabajo. Universidad Técnica del Norte Facultad.
- Gutierrez, H., & Vara, D. la. (2008). *Should antibiotics be administered after endoscopic mucosal resection in patients with colon polyps? In Turkish Journal of Medical Sciences* (Vol. 46, Issue 5). <https://doi.org/10.3906/sag-1507-147>
- Gutiérrez, R. (2019, September 15). *Análisis elemental*.
<https://scholar.google.com/citations?user=qPXhxucAAAAJyhl=de>
- Herguedas, A. I. de L., Taranco, C. del P., García, E. R., & Paniagua, P. P. (n.d.). *Biomasa, biocombustibles y sostenibilidad*.
[http://sostenible.palencia.uva.es/system/files/publicaciones/Biomasa%2C Biocombustibles y Sostenibilidad.pdf](http://sostenible.palencia.uva.es/system/files/publicaciones/Biomasa%2C%20Biocombustibles%20y%20Sostenibilidad.pdf)

- Holl, R. J., y Demeo, E. A. (1990). *The Status of Solar Thermal Electric Technology*. *Advances in Solar Energy*, 6, 219–394.
- Lozada, E. (2019). “Eficiencia de Cuatro Biomosas de *Eichhornia crassipes* en la Remoción de Cadmio en Aguas Residuales del Tragadero Yacuchingana – Cajamarca.” 010. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/35906/Lozada_MEY.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Manals Cutiño, E., Penedo Medina, M., & Salas Tort, D. (2015). Caracterización del bagazo de caña como biomasa vegetal. *RTQ Online*, 35(2), 244–255.
- Mathew, Sathyajith. (2006). *Wind energy: fundamentals, resource analysis and economics*. Springer.
- Ministerio del Ambiente. (2013). *Evaluación de necesidades tecnológicas para el manejo de la oferta hídrica en cantidad y calidad*. 275.
- Ministerio de Coordinación de la Producción, E. y C. (2014, September 15). *Ministerio de Coordinación de la Producción, Empleo y Competitividad – Vicepresidencia de la República del Ecuador*. <https://www.vicepresidencia.gob.ec/ministerio-de-coordinacion-de-la-produccion-empleo-y-competitividad-2/>
- Muñoz, F., Cancino, J., Rodríguez, R., & Olave, R. (2018). *Evaluation of growth, yield and calorific value of miscanthus x giganteus (Poaceae) biomass established in south central of Chile | Evaluación de crecimiento, rendimiento y calorimetría de biomasa de miscanthus x giganteus (Poaceae) establecido en el cent. Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias*, 50(1), 47–60.
- Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL*. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf
- Obando, J. (2006). Aspectos teóricos de *Eichhornia crassipes*.
- Observatorio Regional de Planificación para el Desarrollo. (2021, September 15). Página no encontrada Observatorio Regional de Planificación para el Desarrollo. <https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/planes/plan-de-creacion-de-oportunidades-2021-2025-de-ecuador>
- Quinteros, O. (2020). “Caracterización del Bagazo de Caña de Azúcar de Variedades del Ingenio

Azucarero Tababuela para Bioenergía.”

- Quiroz, K. (2022). Evaluación del Potencial Energético del Lechuguín Seco (*Eichhornia crassipes*). In Aplicado en [UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE].
- Ríos, L. A., & Ospino, K. (2012). Producción de bioetanol a partir de jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) respecto a otros materiales lignocelulósicos. *Revista Agunkuya*, 2(1), 42–62. <http://revia.areandina.edu.co/ojs/index.php/Cc/article/view/302>
- Robles, A., González, P., Esteban, L., y Molina, E. (2009). Biocatalysis: Towards ever greener biodiesel production. *Biotechnology Advances*, 27(4), 398–408. <https://doi.org/10.1016/J.BIOTECHADV.2008.10.008>
- Roca, P., Jordy, O., & Rodriguez, A. (2014). *Bioquímica Técnicas y Métodos*.
- Röder, M., y Welfle, A. (2018). Bioenergy. Managing Global Warming: An Interface of Technology and Human Issues, 379–398. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814104-5.00012-0>
- Rodríguez, A. G., Colmenares, F. A., Barragán, J. C., & Mayorga, M. A. (2017). *Aprovechamiento energético integral de la Eichhornia crassipes (Buchón de agua)*. c, 134–151.
- Rojas, I. R. (2002). Conferencia Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. *Gestion Integrada De Tratamiento De Aguas Residuales*. datateca.unad.edu.co/.../ARESIDUAL2012.../fundamentoaguasresiduales...
- Rueda, Y., y Tannous, K. (2017). Aplicando un esquema de reacciones paralelas independientes Kinetic analysis of biomass thermal decomposition applying a scheme of independent parallel reactions. 16(2), 119–127.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 26(6), 791–806. <https://doi.org/10.1108/JMTM-03-2014-0020>
- SPENA. (2016, September 15). Planta de Tratamiento de Aguas Residuales - PTAR - SPENA GROUP Tratamiento de Aguas Residuales. <https://spenagroup.com/planta-tratamiento-aguas-residuales-ptar/>
- Suarez, E., Awasthi, M., Kaur, J., & Rana, S. (2013). Bioethanol Production Through Water Hyacinth, *Eichhornia Crassipes* Via Optimization of the Pretreatment Conditions. *ICERTSD2013 International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*,

3, 42–46. www.ijetae.com

- Sulkowska, N., y Lot, A. (1983). Estudio Demográfico Del Lirio Acuático *Eichhornia Crassipes* (Mart) Solms: Dinámica I?E Crecimiento En Dos Localidades Selectas De Mexico* Martha S. Niño Sulkowska * * y Antonio Lot* * RESUMEN. <https://doi.org/10.17129/botsci.1300>
- Valladares, F., Peñuelas, J., & de Luis Calabuig, E. (2005). Impactos sobre los ecosistemas terrestres. *Evaluacion Preliminar de Los Impactos En España Por Efecto Del Cambio Climático*, 65–112. https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/02_ecosistemas_terrestres_2_tcm30-178493.pdf
- Vera, J. (2012). Monitoreo y control ecológico de lechuguines (*Eichhornia Crassipes*) en el embalse “La Esperanza”, en la cuenca del río Chone de la provincia de Manabí, Ecuador. *La Técnica*, ISSN 1390-6895, ISSN-e 2477-8982, No. 8, 2012 (Ejemplar Dedicado a: Junio-diciembre), Págs. 40-46, 8(8), 40–46. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6087617&info=resumen&idioma=SPA>
- Vibrans, H., Hanan, A., y Mondragón, J. (2005). Lechuguines. *Botanical Sciences*. https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=es&user=jTd8_AwAAAAJ&citation_for_view=jTd8_AwAAAAJ:hqOjcs7Dif8C