



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

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL**  
**LECHUGUÍN SECO (*Eichhornia Crassipes*) APLICADO EN**  
**DERRAMES DE HIDROCARBUROS**

TRABAJO DE GRADO PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO EN  
ENERGÍAS RENOVABLES

**AUTOR:** TYRONE KEVIN VILCA QUIROZ

**DIRECTOR:** ING. JORGE EDWIN GRANJA RUALES

**IBARRA - ECUADOR**

**2022**



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES  
UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN Nro. 001-073-CEAACES-2013-13

Ibarra-Ecuador

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y  
AMBIENTALES

CERTIFICACIÓN TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE  
TITULACIÓN

Ibarra, 09 junio del 2022

Para los fines consiguientes, una vez revisado el documento en formato digital el trabajo de titulación: "Evaluación del potencial energético del lechuguín seco (*Eichhornia Crassipes*) con hidrocarburos absorbidos.", de autoría del señor **Tyrone Kevin Vilca Quiroz** 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. Jorge Granja  
**DIRECTOR TRABAJO TITULACIÓN**

PhD: Juan Carlos García  
**MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN**

MSc. Santiago Salazar  
**MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN**

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 RECURSOS NATURALES 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 :	1003062948
NOMBRES Y APELLIDOS:	Vilca Quiroz Tyrone Kevin
DIRECCIÓN:	San José de Chaltura, Atuntaqui
EMAIL:	tkvilcaq@utn.edu.ec
TELEFONO FIJO Y MOVIL:	0967636828 2533073

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL LECHUGUÍN SECO (Eichhornia Crassipes) APLICADO EN DERRAMES DE HIDROCARBUROS
AUTOR:	Vilca Quiroz Tyrone Kevin
FECHA:	11-06-2022

SOLO PARA TRABAJO DE TITULACIÓN	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Energías Renovables
DIRECTOR:	MSc. Jorge Granja

**2. CONSTANCIA**

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 que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

**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 RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

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

---

Ibarra, a los 23 días del mes de junio del 2022

**AUTOR**

---

Vilca Quiroz Tyrone Kevin

---

**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.

## **AGRADECIMIENTO**

Mi profundo agradecimiento a todas las autoridades y personal de la academia, por confiar en mí, abrirme las puertas y permitirme realizar todo el proceso investigativo dentro de su establecimiento educativo superior.

Un agradecimiento especial a mi director de tesis MSc. Jorge Granja y a mis asesores MSc. Santiago Salazar y PhD. Juan Carlos García, quienes me brindaron su valioso tiempo y conocimiento para formarme como un profesional crítico, comprometido y responsable.

En particular quiero agradecer a mis compañeros y amigos quienes han sido un pilar fundamental en este camino, por mostrarme su apoyo y compañerismo con la que siempre contare.

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación lo dedico principalmente a mis padres quienes siempre lucharon por darme la educación, este trabajo de ingeniería es fruto de todos sus esfuerzos, sin su compañía y sabiduría no habría llegado hasta aquí.  
A mi hermana por su inocencia, sus risas que siempre me recuerdan lo simple que es la vida y me ayuda a seguir adelante.

A mi familia que siempre apoyaron con un granito de arena para culminar esta etapa universitaria.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

### Contenido

<b>Introducción</b> .....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Problema de investigación y justificación.....	4
1.3 Objetivos.....	4
<b>1.3.1 Objetivo General</b> .....	4
<b>1.3.2 Objetivos específicos</b> .....	4
1.4 Hipótesis.....	5
<b>Capítulo II</b> .....	6
<b>Revisión de Literatura</b> .....	6
2.1 Descripción <i>E. Crassipes</i> .....	6
<b>2.1.1 Taxonomía de <i>Eichhornia Crassipes</i></b> .....	7
<b>2.1.2 Componentes Lignocelulósicos de <i>E. Crassipes</i></b> .....	7
2.2 Caracterización Térmica TGA.....	8
2.3 Análisis Proximal y Elemental.....	9
2.4 Análisis Estructural.....	10
2.5 Eficiencia <i>Eichhornia Crassipes</i> .....	11
2.6 Situación Actual de Hidrocarburos en Ecuador.....	12
2.7 Descripción de Derrames de Hidrocarburos.....	13
2.8 Combustibles Alternos.....	14
2.9 Marco legal.....	15
<b>2.9.1 Constitución Política del Ecuador</b> .....	15
<b>2.9.2 Plan Nacional de Desarrollo Toda una Vida</b> .....	15
<b>Capítulo III</b> .....	17
<b>Metodología</b> .....	17
3.1 Descripción del Área de Estudio.....	17
3.2 Métodos.....	18
<b>3.2.1 Recolección y Selección de la Materia Prima</b> .....	18
<b>3.2.2 Proceso de Pre-Secado</b> .....	19
<b>3.2.3 Proceso de Secado por Estufa</b> .....	20
<b>3.2.4 Determinación del Contenido de Humedad</b> .....	21
<b>3.2.5 Preparación de las Muestras para Análisis en Laboratorio</b> .....	21



3.2.6	<i>Aplicación y Cálculo del Porcentaje de Absorción de Hidrocarburos por E. Crassipes</i> .....	22
3.3	Análisis Elemental del Lechuguín Seco ( <i>Eichhornia Crassipes</i> ) con Hidrocarburos Absorbidos.....	23
3.4	Análisis Proximal del Lechuguín Seco ( <i>Eichhornia Crassipes</i> ) con Hidrocarburos Absorbidos.....	23
3.5	Análisis Estructural del Lechuguín Seco ( <i>Eichhornia Crassipes</i> ) con Hidrocarburo Absorbido.....	24
3.6	Análisis Multicriterio con el método AHP para la Aplicación Bioenergética del Lechuguín Seco ( <i>Eichhornia Crassipes</i> ) con Hidrocarburos.....	24
<b>Capítulo IV</b>	.....	<b>27</b>
<b>Resultados y Discusión</b>	.....	<b>27</b>
4.1	Contenido de Humedad .....	27
4.2	Absorción de Hidrocarburos.....	28
4.2.1	<i>Saturación y Absorción Muestras con Hidrocarburos</i> .....	28
4.3	Calorimetría <i>Eichhornia Crassipes</i> .....	30
4.4	Análisis Elemental y Proximal del lechuguín seco ( <i>Eichhornia Crassipes</i> ) con Hidrocarburos Absorbidos.....	31
4.4.1	<i>Composición Elemental del lechuguín E. Crassipes con hidrocarburos derramados</i> .....	31
4.4.2	<i>Composición Proximal del Lechuguín E. Crassipes con Hidrocarburos Derramados</i> .....	32
4.5	Análisis Estructural del Lechuguín Seco ( <i>Eichhornia Crassipes</i> ) con Hidrocarburos Absorbidos.....	34
4.6	Análisis Multicriterio con el método AHP para la Aplicación Bioenergética del Lechuguín Seco ( <i>Eichhornia Crassipes</i> ) con Hidrocarburos Absorbidos.....	37
<b>Capítulo V</b>	.....	<b>40</b>
5.1	Conclusiones.....	40
5.2	Recomendaciones .....	40
<b>6</b>	<b>Referencias</b> .....	<b>42</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Taxonomía Eichhornia Crassipes.....	7
<b>Tabla 2</b> Composición de E. Crassipes Según Diferentes Autores.....	8
<b>Tabla 3</b> Análisis Proximal de E. Crassipes en Base Seca.....	9
<b>Tabla 4</b> Análisis Elemental de E. Crassipes en Base Seca.....	10
<b>Tabla 5</b> Eficiencia de Remoción de E. Crassipes.....	12
<b>Tabla 6</b> Escala de Comparación del método AHP.....	26
<b>Tabla 7</b> Saturación y Porcentaje de Absorción de Hidrocarburos.....	29
<b>Tabla 8</b> Saturación y Porcentaje de Absorción de Hidrocarburos.....	29
<b>Tabla 9</b> Saturación y Porcentaje de Absorción de Hidrocarburos.....	30
<b>Tabla 10</b> Valor del Poder Calorífico Superior de E. Crassipes.....	31
<b>Tabla 11</b> Análisis Elemental de E. Crassipes en Porcentaje de N, C, H, S.....	32
<b>Tabla 12</b> Análisis Proximal de E. Crassipes en Porcentaje.....	33
<b>Tabla 13</b> Parametros Estructurales E. Crassipes con Hidrocarburos.....	36
<b>Tabla 14</b> Matriz de comparación pareada para determinar prioridades de cada variable de la muestra con lubricante.....	38
<b>Tabla 15</b> Matriz de comparación pareada para determinar prioridades de cada variable de la muestra con diésel.....	38
<b>Tabla 16</b> Matriz de comparación pareada para determinar prioridades de cada variable de la muestra con aceite.....	38

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Eichhornia Crassipes.....	6
<b>Figura 2</b> Análisis TGA de la raíz del lirio acuático.....	11
<b>Figura 3</b> Mapa de Ubicación de la Planta de Trantamiento.....	17
<b>Figura 4</b> Recolección E. Crassipes.....	18
<b>Figura 5</b> Limpieza y Selección E. Crassipes.....	19
<b>Figura 6</b> Pre-secado mediante un Secador Solar Indirecto.....	19
<b>Figura 7</b> Secado por Estufa.....	20
<b>Figura 8</b> Pesaje de las muestras de E. Crassipes.....	20
<b>Figura 9</b> Trituración y tamizado de las muestras.....	22
<b>Figura 10</b> Analizador TGA marca METTLER TOLEDO.....	24
<b>Figura 11</b> Pérdida de masa E. Crassipes.....	28
<b>Figura 12</b> Curva de Tasa de Conversión como Función de la Temperatura de las muestras.....	34

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL LECHUGUÍN  
SECO (*Eichhornia Crassipes*) APLICADO EN DERRAMES DE  
HIDROCARBUROS**

Nombre: Tyrone Kevin Vilca Quiroz

Correo: tkvilca@utn.edu.ec

**RESUMEN**

En la actualidad existe una tendencia con respecto al desarrollo de fuentes de energía renovable para la diversificación de la matriz energética, la planta acuática *Eichhornia Crassipes*, conocida como lechuguín presenta una solución mediante el desarrollo de nuevas aplicaciones bioenergéticas; en la presente investigación se realizó la caracterización química, física y energética de la *Eichhornia Crassipes* con hidrocarburos absorbidos para identificar la aplicación con mayor rendimiento por medio del análisis multicriterio con el método del proceso de análisis jerárquico (AHP) los resultados indicaron la muestra M1\_A con aceite usado de cocina tendrá buenos rendimientos por medio de una combustión directa con ponderaciones del 52% o la generación de bioetanol con 33%, para la muestra M2\_D con diésel derramado se identificó la producción de bioetanol con 54% y finalmente la muestra M3\_L con lubricante usado tendrá un rendimiento superior por medio de un proceso por combustión directa debido al poder calorífico de 30.19 MJ/kg.

**Palabras Clave:** Lechuguín, hidrocarburos, poder calorífico, lignocelulosa, bioenergía

**ASSESSMENT OF DRY WATER HYACINTH (*Eichhornia Crassipes*)  
APPLIED IN OIL SPILLS**

**Name: Tyrone Kevin Vilca Quiroz**

**Email: tkvilcaq@utn.edu.ec**

**ABSTRACT**

Currently there is a trend regarding the development of renewable energy sources for the diversification of the energy matrix by clean energy, the aquatic plant *Eichhornia Crassipes*, better known as lechuguín, is presented as a solution for the development of new applications bioenergetics: For this reason, in the present investigation, the chemical, physical and energetic characterization of the *Eichhornia Crassipes* was carried out with absorbed hydrocarbons to identify by application with the highest performance by means of a multicriteria analysis with AHP method. Therefore, the results indicated that the sample M1\_A with used cooking oil will have good yields through direct combustion with weights of 44% or the generation of biogas with 38%, for the sample M2\_D with spilled diesel, the production of bioethanol with 54% and finally the M3\_L sample with used lubricant will have a superior performance through direct combustion due to its high calorific value of 30.19 MJ / kg.

**Keywords:** Water lily, hydrocarbons, calorific value, lignocellulose, bioenergy

## Capítulo I

### Introducción

Los siguientes antecedentes son la base de la investigación por medio de la cual se descubre la necesidad de solucionar problemas medio ambientales provocados por derrames de hidrocarburos y el crecimiento exponencial de lechuguínes.

#### 1.1 Antecedentes

El lechuguín (*Eichhornia Crassipes*) es una planta macrofita de la familia de las monocotiledóneas conocida como Lirio Acuático, Jacinto de Agua o Buchón de Agua (Jerves, 2012), actualmente causa grandes problemas ambientales, sociales y económicos debido al crecimiento exponencial en lagos, estuarios, humedales, estanques, embalses o ríos (Atehortua & Gartner, 2013). La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) cataloga a la *Eichhornia Crassipes* entre las 100 principales especies invasoras y una de las 10 peores malezas del mundo. Atribuido a las principales características: alta tasa de crecimiento, dispersión extensa, capacidad de reproducción y amplia tolerancia ambiental (Martelo & Borrero, 2012); con una gran ocupación de la superficie, impedimento del paso de la luz solar y del oxígeno en los ecosistemas acuáticos con un aumento de la mortalidad de las especies y el crecimiento de microorganismos patógenos, vectores de enfermedades (Donoso, 2015). En algunos casos afecta a la navegación y pesca por la interrupción de la vía fluvial (Calderón, 2015).

El lechuguín (*Eichhornia Crassipes*) presenta ventajas de biorretención en sistemas de purificación biológica o métodos de fitorremediación para mejorar la calidad del suelo y agua (Arroyo & Gutiérrez, 2014), extrae impurezas con metales pesados, sólidos suspendidos y colorantes (Viteri, 2014). Las fibras de la planta se utilizan para la producción de papel, tejidos y productos artesanales (Atehortua & Gartner, 2013). Permite la aplicación como fuente de energía en la producción de biogás, bioetanol o a partir de la propia combustión del lechuguín (Calderón, 2015).

Por otra parte, otro problema conocido en la humanidad globalizada se encuentra presente el crecimiento poblacional y desarrollo constante con relación directa al mercado automotriz en cuanto a la cantidad aceite lubricante generado. A nivel mundial hay dos procesos realizan los aceites lubricantes usados: el uso como

combustible industrial y la regeneración (Torres, 2019). El uso del lubricante permite reducir la energía requerida para la operación mecánica del motor y el desgaste que se produce por la fricción existente en las superficies del mismo; además reduce el calentamiento por la acción del refrigerante contenido en el lubricante (Erazo, 2017). Por último, el aceite lubricante tiene propiedades de sellado entre los pistones y los cilindros del motor. Sin embargo, el aceite lubricante es considerado un residuo peligroso por sus características de inflamabilidad y toxicidad. Contiene compuestos químicos como metales pesados entre los cuales se encuentran el cromo, cadmio, arsénico, plomo los cuales afectan de forma directa sobre la salud humana, el agua, suelo y el aire (Torres, 2019).

En el año 2018 la demanda mundial de aceites lubricantes llegó aproximadamente a 40 millones de toneladas año; en países desarrollados como EE. UU se consume 7.6 millones de toneladas año de lubricantes, en Japón 2.2 millones y en la Unión Europea 4.7 millones; Europa tiene una gestión de aceites lubricantes donde el 50% de los combustibles tradicionales son reemplazados por una mezcla entre combustibles convencionales y aceite lubricante con el objetivo de reducir la contaminación ambiental (United States Environmental Protection Agency, 2018).

Dentro del contexto ecuatoriano, existen dos empresas dedicadas a la elaboración de lubricantes como es la Empresa Pública Petroecuador EP y la Asociación de Productores y Exportadores de Lubricantes (APEL), las cuales representan el 63% del producto comercializado en el país. En el año 2020 en Ecuador se comercializaron 23.2 millones de aceites lubricantes y cinco millones de galones fueron exportados a la región (Colombia, Perú, Panamá, EE. UU, entre otros) Además, las líneas de negocio de los aceites son para motores de gasolina, diésel, industriales, hidráulicos y grasas; para este fin en el país se comercializan 65 marcas de lubricantes entre las más conocidas se encuentran Havoline, Shell, Castrol, Golden Bird, Petroecuador y PDVSA (APEL, 2020). Según datos del INEC del Censo Económico del 2010, en el país existen 1668 centros que se dedican al cambio de aceite y en 1510 centros se comercializan los lubricantes con un ingreso promedio, de 58 914 dólares americanos.

Entre las posibles causas de derrames de hidrocarburos en las gasolineras o lubricadoras está la falta de actualización en tecnologías de seguridad, debido a sus construcciones desde 1995 en Ecuador, en consecuencia no poseen sistemas de seguridad actualizados (Vaca, 2016). La planeación deficiente afecta a las empresas en una baja responsabilidad social y ambiental, más la falta de personal especializado en la mitigación de derrames de hidrocarburos que puedan afectar aguas subterráneas o suelos aprovechables (Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero, 2019).

Por otra parte, la industria de aceites y grasas consume en el país 240 000 toneladas al año y según la Superintendencia de Compañías, Valores y Seguros (SUPERCIAS) existen 116 compañías destinadas a la elaboración de aceites y grasas de origen vegetal con sus tres principales productores: empresa “La Fabril” con sus marcas de aceites de cocina “La Favorita” y “Girasol”, y también las empresas Ciecopalma S.A. y Danec S.A. Esta industria representa el 0.3% del PIB del país con un aporte de 362.8 millones de dólares (SUPERCIAS, 2018).

En el mercado ecuatoriano se encuentran presenten tres tipos de aceites: el aceite más sano denominado monoinsaturado (oliva), los aceites poliinsaturados (girasol, maíz, soya) y los aceites saturados de palma o coco. El aceite luego de ser usado es un residuo con una disposición final inadecuada; termina en la alcantarilla o en los basureros para consecuentemente generar un impacto ambiental, una afectación en la salud humana y desaprovechar una materia prima para el reciclaje y elaboración de biocombustibles (Valencia, 2017).

Así, en la presente investigación se presenta una alternativa para el aprovechamiento del lechuguín (*Eichhornia Crassipes*), en este caso la capacidad de absorción será aprovechada en derrames de hidrocarburos para la aplicación bioenergética, puesto que los combustibles líquidos derivados de hidrocarburos con un mal uso afectan el entorno que lo rodea, la salud humana y acelera el deterioro ambiental (Hilpert & Bernat, 2015); cuando los derrames ocurren en el subsuelo, las aguas subterráneas son su medio de propagación, además la evaporación del combustible afecta a las personas que se encuentran en las lubricadoras y gasolineras (Sánchez & Harold, 2017). De esta manera se plantea una alternativa



sencilla y económica para mitigar la propagación de la planta en ríos, lagunas o embalses, sino que también se aprovecha su capacidad de biorretención para la absorción de hidrocarburos derramados, lo cual otorga una solución a la problemática de la planta, si generar impactos al ambiente.

## **1.2 Problema de investigación y Justificación**

La exposición de hidrocarburos al medio ambiente por actividades de comercialización y mantenimiento se presenta principalmente en las fallas del personal o la desactualización en la tecnología implementada por las lubricadoras, gasolineras o petroleras que genera un riesgo a la salud de las personas por el peligro de contaminación que presenta la evaporación o disolución de hidrocarburos tanto en el aire como en el suelo. Por lo cual, el “*Eichhornia Crassipes*” puede mitigar las afectaciones relacionadas al derrame de hidrocarburos gracias a su ventaja en capacidad de absorción. Sin embargo, se desconoce su potencial energético debido a la falta de investigación.

La planta es acuática con raíces sumergidas muy extensas, la cual se ha desarrollado de una manera abundante y acelerada en diferentes zonas del país. La tasa de crecimiento exponencial alta y capacidad de retención elevada, presenta a la planta como una alternativa para controlar el derrame de hidrocarburos. Además, las fibras del lechuguín con combustibles derramados servirán para la aplicación bioenergética, así se aprovecha las cualidades de esta especie (*Eichhornia Crassipes*), se reduce la población de lechuguín y genera bioenergía para ser comercializada; generar oportunidades de desarrollo económico, ambiental y social.

## **1.3 Objetivos**

### ***1.3.1 Objetivo General***

Evaluar el potencial energético del lechuguín seco (*Eichhornia Crassipes*) con hidrocarburos absorbidos.

### ***1.3.2 Objetivos específicos***

- Análisis proximal y elemental del lechuguín seco (*Eichhornia Crassipes*) con hidrocarburos absorbidos.

- Análisis estructural del lechuguín seco (*Eichhornia Crassipes*) con hidrocarburo absorbido.
- Análisis multi-criterio AHP para la aplicación bioenergética a partir del lechuguín seco (*Eichhornia Crassipes*) con hidrocarburos absorbidos.

#### **1.4 Hipótesis**

El material absorbente del lechuguín (*Eichhornia Crassipes*) con hidrocarburos derramados permite la aplicación bioenergética con un razonable potencial energético.

## Capítulo II

### Revisión de Literatura

La revisión de literatura indicada a continuación es referida a la investigación, donde se observa casos de estudio, métodos y técnicas empleadas para el análisis de la biomasa residual del lechuguín seco *E. Crassipes* con hidrocarburos absorbidos las cuales sirven para la investigación bioenergética del lirio acuático.

#### 2.1 Descripción *E. Crassipes*

Las macrófitas flotantes o plantas acuáticas comprenden un amplio y variado grupo de plantas de las cuales destaca principalmente el denominado lechuguín o Jacinto de agua (*Eichhornia Crassipes*) perteneciente a la familia *Pontederiaceae*, originaria de Brasil y Ecuador (Rojas, 2021). Esta especie flotante de raíces sumergidas, con hojas color verde brillante y un tallo corto, como en la figura 1; llega a medir entre 0.5 y 1.2 m desde la parte superior hasta la raíz. Está constituida por un tejido de polisacáridos estructurales como celulosa, hemicelulosa y lignina, además es la octava planta de crecimiento rápido en el mundo (Donoso, 2015). Durante el verano se reproduce fácilmente por medio de estolones producidos por la planta madre, llegando a formarse islas de gran tamaño (Calderón, 2015).

#### Figura 1

*Eichhornia Crassipes*



Entre los problemas se encuentran la capacidad de producir biomasa y la ocupación de grandes extensiones, esto obliga a realizar actividades para retirar los excesos y optimizar la captura de algunos componentes del agua residual; los usos de esta biomasa son aplicables para la fabricación de compost, la manufactura del cartón, la producción de combustibles o como material absorbente de metales pesados (Martelo & Borrero, 2012).

### 2.1.1 Taxonomía de *Eichhornia Crassipes*

De acuerdo a Calderón (2015), la taxonomía del lechuguín o Jacinto de agua se clasifica de acuerdo a la tabla 1:

**Tabla 1**

*Taxonomía Eichhornia Crassipes*

Clasificación	Nombre
Reino	Plantae
Subreino	Traqueobionta (plantas vasculares)
Superdivisión	Spermatophyta (plantas con semillas)
División	Magnoliophyta (plantas con flor)
Clase	Liliopsida (monocotiledóneas)
Subclase	Lilidae
Orden	Liliales
Familia	Pontederiaceae
Género	Eichhornia
Especie	E. crassipes

*Nota.* Adaptada de *Taxonomía Eichhornia Crassipes*, de Calderón, 2015. CC BY 2.0

### 2.1.2 Componentes Lignocelulósicos de *E. Crassipes*

La lignocelulosa es la mayor fuente de carbohidratos renovables en el mundo por ser el material más abundante en la naturaleza, por ello presenta ventajas como la producción de biocombustibles, cogeneración de energía eléctrica y generación de compuestos químicos (Ospino & Ríos, 2012). Es un polímero

complejo compuesto por celulosa, hemicelulosa y lignina; los compuestos contienen proporciones en peso seco de biomasa en el caso del *E. Crassipes* de aproximadamente 48% de hemicelulosa, 18% de celulosa y 3.5% de lignina, a pesar de presentar varios tamaños la revisión bibliografía indica un alto contenido de hemicelulosa y bajos contenidos de lignina en la planta (Atehortua & Gartner, 2013). Esta revisión bibliográfica se muestra en la tabla 2 con la composición lignocelulósica del lirio acuático según 12 diferentes autores.

**Tabla 2**

*Composición de E. Crassipes Según Diferentes Autores*

Composición en porcentaje base seca%			Autores
Lignina	Celulosa	Hemicelulosa	
7	31	22	(Bolenz et al., 1990)
9.27	19.5	33.4	(Abdelhamid & Gabr, 1991)
9.93	25.61	18.42	(Poddar et al., 1991)
7.8	17.8	43.4	(Patel et al., 1993)
26.36	33.97	18	(Chanakya et al., 1996)
3.50	18.20	48.7	(Nigam, 2002)
15.2	36.5	22	(Mukherjee & Nandi, 2004)
27.7	46.7	46.7	(Girisuta et al., 2008)
10	25	35	(Bhattacharya & Kumar, 2010)
4.37	19.02	32.69	(Sornvoraweat & Kongkiattikajorn, 2010)
2.8	18.2	29.3	(Ma et al., 2010)
12.22	34.19	17.66	(Ahn et al., 2011)

## 2.2 Caracterización Térmica TGA

En el conjunto de análisis térmicos se encuentra el análisis termogravimétrico, el cual ha sido desarrollado para identificar y medir los cambios físicos y químicos de los materiales cuando son expuestos a variaciones de temperatura; los cambios de la masa del material son registrados continuamente conforme se varía la temperatura a una tasa térmica constante (Güemez, 2018). Así, en el resultado de dicho análisis se consiguen los datos de cambio de masa con

respecto a la temperatura, al tiempo y un termo-grama, donde se representan gráficamente las variaciones porcentuales de la masa (Fonseca et al., 2005).

Según Fonseca et al. (2005) en el caso de la planta *E. Crassipes* en el presente análisis presenta una pérdida en peso desde los 25°C hasta los 130°C, intervalo en el cual el 95% de humedad en peso inicial es reducido; después de los 130°C se mantiene constante la pérdida humedad y peso hasta los 200°C, intervalo en el cual se volatizan los compuestos hidrofílicos sin dañar la estructura de la muestra.

### 2.3 Análisis Proximal y Elemental

El método del análisis proximal consiste en determinar los contenidos de porcentaje en peso de carbón fijo, materia volátil, ceniza y humedad después de procesos de secado del material a analizar (Rojas, 2021). De esta manera Sukarni et al. (2019) en la tabla 3 obtiene resultados de *E. Crassipes* que indican un valor alto de 64.4% de material volátil; por lo cual la biomasa es más susceptible a la combustión con una mayor reactividad.

**Tabla 3**

*Análisis Proximal de E. Crassipes  
en Base Seca*

Parámetro	Contenido (%)
Humedad	--
Material Volátil	64.4
Carbono Fijo	14.5
Cenizas	21.1

*Nota.* Tomada de *Análisis Proximal y Elemental*, de Sukarni et al, 2019. CC BY 2.0

El análisis elemental permite conocer la composición elemental de un combustible de biomasa como el carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N) y azufre (S); tomando en cuenta que estas propiedades varían en dependencia del material que se esté analizando y el método en cuestión (Lozada,

2019). Además, según Bergier et al. (2012) y Matsumara (2012) en el caso de la planta *E. Crassipes* obtuvieron resultados que indican un bajo contenido de azufre (<1%) y nitrógeno (3.15%) como se indica en la tabla 4; es una ventaja para el proceso de combustión por la baja emisión de óxidos de nitrógeno (NOx) y azufre (SOx).

**Tabla 4**

*Análisis Elemental de E. Crassipes  
en Base Seca*

Elemento	Composición (%)
C	33.5
H	5.6
N	3.15
O	27.5
S	0.35

*Nota.* Tomada de *Análisis Elemental E. Crassipes*, de Matsumara, 2012. CC BY 2.0

Además, según Muhammad et al. (2016) indica que un alto contenido de oxígeno tiende a reducir el poder calorífico mientras que un alto contenido de carbono tiende a formar un combustible de biomasa de alta calidad; es decir, un alto contenido de carbono contribuye positivamente al poder calorífico y un alto contenido de oxígeno contribuye negativamente.

#### **2.4 Análisis Estructural**

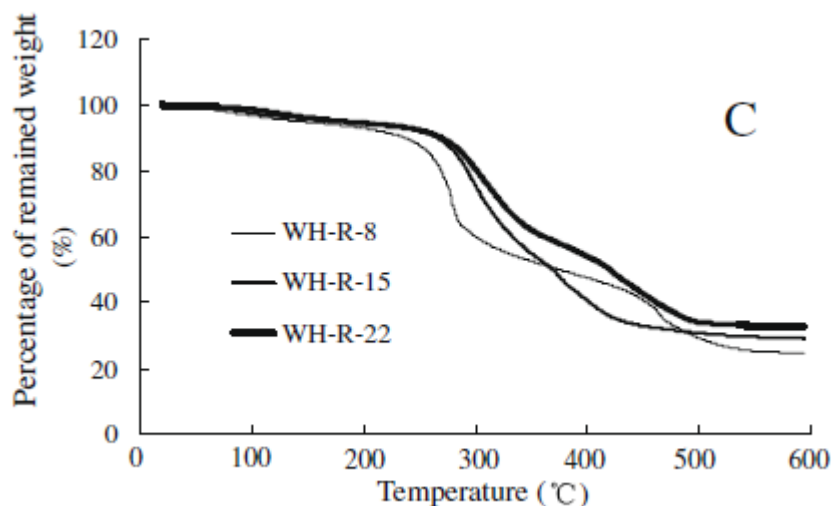
Este análisis de biomasa es especialmente importante cuando se produce bicombustibles derivados de productos químicos, como el estudio de su combustión; también es útil en la determinación del Higher Heating Value (HHV) o valor calorífico alto de la biomasa (Rojas, 2021). Así, Muhammad et al. (2016) indica los valores caloríficos obtenidos para la hoja de jacinto de agua de 17.64 MJ/kg, mientras que el tallo de jacinto de agua 20.53 MJ/kg; estos valores de energía son suficientes para producir el calor necesario para cocinar en el hogar y aplicaciones industriales a pequeña escala.



Además, según Atehortua & Gartner (2013) en el comportamiento térmico de *E. Crassipes* se observan tres pérdidas significativas: la primera hasta 260°C donde ocurre la pérdida de agua y volátiles; aquí pierde el 10 % de su peso, la segunda entre 260° y 400°C, en la cual se descompone la hemicelulosa y el material pierde el 50% de su peso; la tercera por encima de 400°C incluye la descomposición de la celulosa y lignina restante para perder el 27% del peso, dejando un residuo de 13%.

## Figura 2

Análisis TGA de la raíz del lirio acuático



*Nota.* Análisis de pérdida de peso con respecto a un aumento de temperatura en la raíz del lirio acuático. Tomado de *TGA de la raíz del lirio acuático*, de Zhou et al, 2009 ([www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)). CC BY 2.0

## 2.5 Eficiencia *Eichhornia Crassipes*

El lechuguín o Jacinto de agua ha demostrado eficiencias de remoción significativamente altas cuando se ha empleado en sistemas de tratamiento de aguas, en ejercicios investigativos a escala real y laboratorio, esta especie aplicada en casos de sólidos suspendidos registran disminuciones en el rango de 21% y 91%; en cuanto al fósforo y nitrógeno se alcanzaron a reducir entre el 91.7% al 98.5% como lo muestra la tabla 5, los metales pesados también han sido objetivo de

reducción, el hierro, cobre, zinc, cadmio y cromo presentaron una disminución desde 85% hasta 95% (Martelo & Borrero, 2012). Estas características permiten aplicar la capacidad de remoción del lechuguín hacia lubricadoras y gasolineras con hidrocarburos derramados, presentándose una condición favorable para la elaboración de un combustible alterno.

**Tabla 5**

*Eficiencia de Remoción de E. Crassipes*

Especie	Rangos de Remoción en (%)								
	SS	P	N	As	Fe	Cu	Cr	Cd	Zn
<i>Eichhornia</i>	22.1	42.3	72.4		76.6	86	60	40	48
<i>Crassipes</i>	92	98.5	91.7	80	90.1	95	89	85	95

*Nota.* Adaptada de *Eficiencia E. Crassipes*, de Martelo & Borrero, 2012. CC BY 2.0

Según Bernabé (2019) la mayor remoción de cadmio con biomasa de la planta *Eichhornia Crassipes* es del 94.64% al cabo de 21 días de exposición; el porcentaje del mercurio y cadmio al cabo de 7 días varían de 15% a 17%. De manera que existe una correlación positiva entre la cantidad de metal pesado removido y el tiempo de exposición del lechuguín; es decir, el tiempo de exposición aumenta la eficiencia de remoción del material absorbente del *Eichhornia Crassipes* (Martinez et al., 2017).

## 2.6 Situación Actual de Hidrocarburos en Ecuador

La administración y comercialización de hidrocarburos está a cargo de la Empresa Estatal PETROECUADOR EP y la Asociación de Productores y Exportadores de Lubricantes (APEL), las cuales cuentan a nivel nacional con cinco plantas generadoras: Lubriska, Inducepsa – Cepsa, Swissol, PDVSA, que están ubicadas en la costa ecuatoriana, exactamente en los sectores de Duran y Guayaquil (APEL, 2020). Además, en Manta se encuentran las Empresas Productoras de Grasas y Aceites como “La Fabril” con sus marcas de aceites de cocina “La Favorita” y “Girasol”, y también las empresas Ciecopalma S.A. y Danec S.A (APEL, 2020).

En el año 2020 estas plantas produjeron 23.2 millones de galones de lubricantes con un ingreso anual de 126 millones de dólares. Por otro lado, el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) en el año 2018 determinó que el parque automotor matriculado en Ecuador creció en más de 1.4 millones de vehículos, lo que situó la cifra por sobre los 2.4 millones de unidades en el país; esta cifra se contrasta con los 1258 millones de galones de combustible desechados (ARCH, 2019). De igual manera la industria de aceites y grasas según La Asociación Nacional de Cultivadores de Palma Aceitera (ANCUPA) presenta un aumento para el consumo en el año 2019 con el 19.1 kg/persona/año con respecto al año 2000 que representaba un consumo de 15.3 kg/persona/año.

## **2.7 Descripción de Derrames de Hidrocarburos**

El sector transporte y sector industrial son los mayores usuarios de aceites lubricantes, los cuales tienen puntos de generación destacándose en orden de relevancia el volumen generado en los talleres de mantenimiento vehicular, lubricadoras, estaciones de servicio y plantas industriales debido al cambio de aceite que realizan en los equipos; el parque industrial genera el 65% de los aceites usados y el restante es generado por el área industrial (Mendoza, 2014). Además, el aceite lubricante tiene diversos compuestos químicos como metales pesados, hidrocarburos aromáticos polinucleares y solventes clorados los cuales producen un efecto directo sobre la salud humana y los ecosistemas debido a su alta solubilidad en agua y la penetración en aguas subterráneas (Sánchez & Harold, 2017).

De acuerdo a la Agencia para la Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) un galón de aceites lubricantes puede contaminar un millón de galones de agua fresca, la misma que puede satisfacer las necesidades de consumo de 50 personas por un año y la misma cantidad de aceite puede llegar a cubrir 32 376 m<sup>2</sup> de agua superficial, lo que altera el equilibrio ecológico al bloquear la luz solar que repercute en la fotosíntesis y la reposición de oxígeno disuelto; su vertido contamina el suelo, aguas superficiales, aguas subterráneas y la fertilidad del suelo (United States Environmental Protection Agency, 2018).

Además, en el año 2016 según datos de Información Ambiental en Hogares del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) el 1% de hogares recolectó

el aceite y lo traslado a un centro de tratamiento, el 54% fue arrojado a la basura, el 24 % fue quemado, enterrado o vertido en el desagüe; el 21% restante fue regalado, vendido o utilizado como alimento para animales. El aceite usado es un residuo capaz de contaminar el recurso hídrico (1 litro de aceite contamina 10 000 litros de agua) en consecuencia del vertido del aceite en el alcantarillado doméstico o industrial (EPA, 2018). Esto representa un tema a tratar con acciones inmediatas que permitan minimizar el impacto de los derrames de hidrocarburos con técnicas amigables con el medio ambiente; la aplicación del material absorbente del lechuguín (*Eichhornia Crassipes*) presenta ventajas en la absorción de compuestos químicos y permite el posterior uso para la fabricación de combustibles alternos (Valencia, 2017).

## **2.8 Combustibles Alternos**

Los denominados combustibles alternos, biocarburantes o biocombustibles son derivados de la transformación de fuentes renovables como plantas y animales, estos combustibles se presentan en forma sólida, líquida o gaseosa; en su combustión los biocombustibles liberan  $CO_2$  sin emisiones netas de carbono. Algunos ejemplos conocidos de biocombustibles son el biodiesel, bioetanol y el biogás, además son usados y desarrollados en los países de Brasil, EE. UU, Francia, Suecia y Alemania (BETA, 2018).

Existen diferentes clases de biocombustibles, si se toma en cuenta la fuente de origen, se clasifican en: primera generación, segunda generación y tercera generación, la producción de biocombustibles de primera generación tiene limitaciones por la amenaza que representa al suministro de alimentos y biodiversidad; los biocombustibles de segunda generación se producen a partir de cultivos no destinados a la alimentación y finalmente los biocombustibles de tercera generación se producen a partir de algas (BETA, 2018). El uso del material absorbente del lechuguín (*Eichhornia Crassipes*) con hidrocarburos derramados se cataloga según FAO (2010) como un biocombustible de segunda generación gracias a mayores ahorros en emisiones de efecto invernadero.

## **2.9 Marco legal**

La presente investigación hace referencia a artículos estipulados en la constitución del Ecuador como soporte para lograr los objetivos académicos establecidos con miras a un desarrollo sustentable en el país. A continuación, los reglamentos y normativas legales vigentes.

### **2.9.1 Constitución Política del Ecuador**

La constitución del Ecuador aprobada el 20 de octubre del 2008, se reconocen los siguientes principios ambientales, aplicables al lechuguín y derrames de hidrocarburos.

El material absorbente del lechuguín (*Eichhornia Crassipes*) contribuye en el **Art.14 y Art. 395** para garantizar el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, garantice la sostenibilidad y el buen vivir, Sumak Kawsay. Asegurando la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras por medio de la mitigación de derrames de hidrocarburos con material absorbente del lechuguín.

La utilización de materiales absorbentes renovables permite al estado adoptar políticas según el **Art. 396 y Art. 397** y tomar acciones oportunas que eviten los impactos ambientales negativos, implicando la obligación de restaurar integralmente los ecosistemas.

La aplicación del material absorbente mediante la remoción de hidrocarburos permite la prevención de degradación del suelo atribuible a la contaminación provocada por los derrames de hidrocarburos, indiciado en el artículo **Art. 20 y Art. 409** donde se establece la prevención y control de la contaminación de suelos para su protección y uso sustentable.

### **2.9.2 Plan Nacional de Desarrollo Toda una Vida**

El plan “Toda una Vida” entro en vigencia el año 2017 hasta el 2021, el mismo reconoce una serie de objetivos, políticas aplicables al lechuguín y derrames de hidrocarburos, como lo es el objetivo número tres que está orientado en “Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones”.

El material absorbente de la planta *E. Crassipes* contribuye en la **política 3.4** para garantizar el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, por medio de medidas que permitan la reducción de la contaminación y la conservación del medio ambiente.

La utilización de materiales absorbentes renovables permite al estado impulsar la economía urbana y rural según la **política 3.5**, que está basada en el uso sostenible y agregado de recursos renovables como lo es material absorbente del jacinto de agua.

## Capítulo III

### Metodología

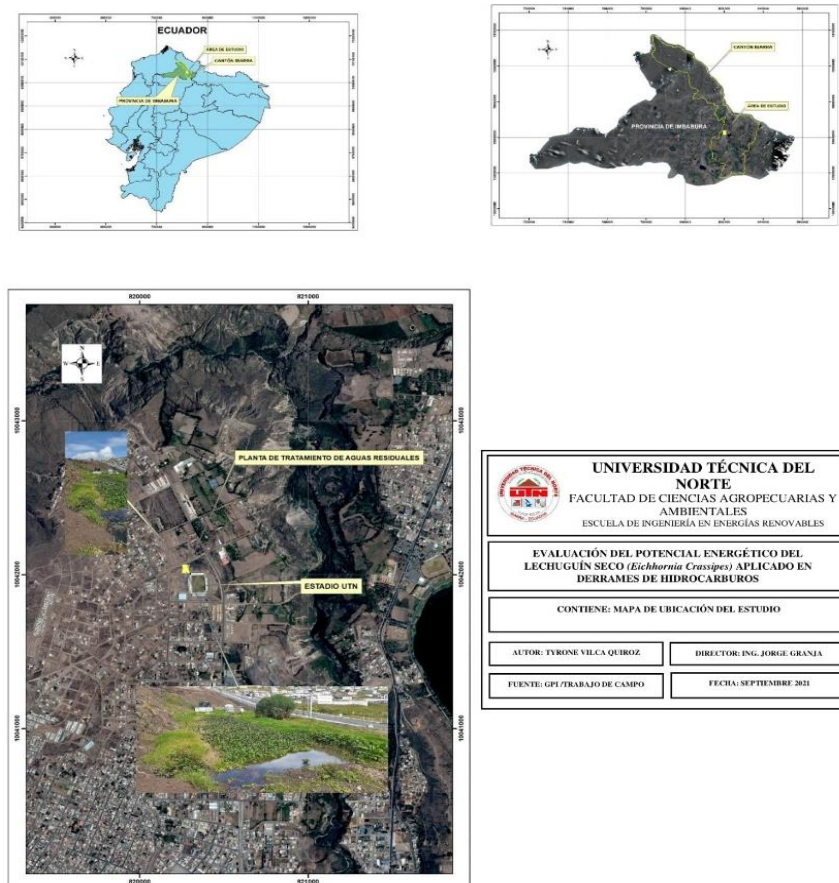
A continuación, se muestra la metodología establecida para el cumplimiento de los objetivos planteados; en cada caso se detalló los pasos a seguir que se llevó a cabo, de igual forma los procesos fueron basados en investigaciones previas, adecuándolas a la metodología establecida.

#### 3.1 Descripción del Área de Estudio

La presente investigación se desarrolla en la planta de tratamiento de aguas residuales del estadio de la Universidad Técnica del Norte (UTN), ubicado en la parroquia de Priorato en el noreste del cantón Ibarra, provincia de Imbabura. Esta planta de tratamiento recibe agua residual de la cabecera de los huertos familiares para ser tratada y empleada en el riego del estadio y el crecimiento de lechuguines.

#### Figura 3

*Mapa de Ubicación de la Planta de Tratamiento*





## 3.2 Métodos

Acorde con las características del tema de investigación y sus objetivos se seleccionaron tanto los procesos como las técnicas metodológicas que se describen a continuación.

### 3.2.1 Recolección y Selección de la Materia Prima

Para el método de recolección se aplica la norma CENTS/TS 14780 (2005) para biocombustibles sólidos, de esta forma se inicia el proceso de recolección y selección de la planta *Eichhornia Crassipes* en la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Técnica del Norte; las plantas se encuentran con impurezas y un alto contenido de humedad.

#### Figura 4

*Recolección E. Crassipes*



En el proceso previo al secado es necesario separar por partes a la planta, en este punto se tratará la materia prima de manera manual, es decir, se separarán las partes con el empleo de tijeras y cuchillos; utilizando únicamente el bulbo esférico de la planta para agilizar el proceso de secado y disminuir el porcentaje de humedad a través de un secador solar.

**Figura 5**

*Limpieza y Selección E. Crassipes*



### **3.2.2 Proceso de Pre-Secado**

Una vez seleccionada la materia prima pasará por un pre-sacado durante 72 horas por medio de un secador solar indirecto, el equipo cuenta con recirculación de aire y una capacidad de 3 kg de lechuguín húmedo, alcanza rangos de temperatura de 40°C a 65°C en días con buena radiación solar gracias a un panel de policarbonato alveolar; así se empezará a reducir la humedad del lechuguín, en este punto además se controlará el porcentaje de peso con respecto a la disminución de la humedad de la materia prima.

**Figura 6**

*Pre-Secado mediante un Secador Solar Indirecto*





### 3.2.3 *Proceso de Secado por Estufa*

Con el objetivo de obtener una remoción total de humedad en la materia prima se procede a transportar las muestras hacia el Laboratorio de Investigaciones Ambientales (LABINAM) de la Universidad Técnica del Norte, las mismas se someterán al proceso de secado por estufa en el equipo de marca Memmert, a 105°C cada hora hasta lograr un peso estable en la muestra; la determinación del contenido de humedad total se realizará antes y después de los procesos de secado (Solis & Vásquez, 2019).

#### **Figura 7**

*Secado por Estufa*



#### **Figura 8**

*Pesaje de las muestras de E. Crassipes*



*Nota.* Pesaje de las muestras mediante una balanza digital

Una vez terminado el proceso de secado se reducirá el tamaño de la materia prima por medio de un molino el cual no afectará las propiedades físicas y químicas del material (González & Vélez, 2015).

#### **3.2.4 Determinación del Contenido de Humedad**

La metodología para este objetivo se ampara en la norma UNE-EN 14774-3 (2010) que determina el contenido de humedad del lechuguín según la ecuación 2, donde se utilizará muestras del material absorbente con hidrocarburos previamente pesada para pasar a una estufa eléctrica y un desecador a temperatura ambiente para nuevamente analizar el peso; se determinará este valor por diferencia de peso.

#### **Ecuación 1**

*Porcentaje de humedad*

$$\%H = \frac{(m_i - m) - (m_f - m)}{(m_i - m)} * 100$$

Donde:

%H= porcentaje de humedad

m= masa del equipo (gr)

mi= masa inicial del lechuguín sin hidrocarburos (húmedo)

mf=masa final del lechuguín con hidrocarburos (seco)

#### **3.2.5 Preparación de las Muestras para Análisis en Laboratorio**

La preparación de muestras del lechuguín se realizó de acuerdo con los requerimientos del personal del laboratorio de Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE), para lo cual se realizó el triturado y tamizado en una trituradora de cuchillas marca FRITCH, el tamizado se realizó con una malla de 0.5 mm y se obtuvo un total de 50g por muestra, de los cuales todos fueron destinados para el análisis elemental y proximal.

## Figura 9

*Trituración y tamizado de las muestras*



*Nota.* Triturado y tamizado del lechuguín seco *E. Crassipes*

### **3.2.6 Aplicación y Cálculo del Porcentaje de Absorción de Hidrocarburos por *E. Crassipes***

Estudios sobre materiales absorbente de origen orgánico han revelado que la mayor capacidad de absorción de hidrocarburo se logra cuando el material contiene grandes cantidades de proteínas (plumas), por otro lado, grandes cantidades de fibra (cáscara de coco) disminuye las propiedades hidrofóbicas, por lo que difícilmente puede ser utilizado en los derrames de hidrocarburo en cuerpos de agua (Lazcano et al., 2016). Por lo cual, para el cálculo del porcentaje de absorción se emplea la norma ASTM F726-99: Standard Test Method for Sorbent Performance of Adsorbents en su apartado Oil Adsorption short Test.

Utilizando la ecuación 2 se calculó la capacidad de absorción del material absorbente:

#### **Ecuación 2**

$$C_{Ab} = \frac{m_t - m_o}{m_o}$$

Dónde:

$C_{Ab}$ =Capacidad de absorción

$m_t$ = Masa del material impregnado (peso del absorbente con hidrocarburo sorbido)

$m_o$ =Masa del material absorbente seco

### **3.3 Análisis Elemental del Lechuguín Seco (*Eichhornia Crassipes*) con Hidrocarburos Absorbidos**

La caracterización del material absorbente con lechuguín seco e hidrocarburos absorbidos está en marcada con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura, para la viabilidad de proyectos con puntos de vista ecológico, ecosistémico, ambiental y sociocultural (FAO, 2010).

El análisis permite obtener información sobre la composición elemental que se encuentran presente en la biomasa de estudio, así se estimara las cantidades de carbono, hidrogeno, oxígeno y nitrógeno (Cando, 2011). Por medio del laboratorio del Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE) se determinará los contenidos de carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), azufre (S) y nitrógeno (N) de cada muestra con hidrocarburos absorbidos por el lechuguín (*Eichhornia Crassipes*).

### **3.4 Análisis Proximal del Lechuguín Seco (*Eichhornia Crassipes*) con Hidrocarburos Absorbidos**

Este análisis es un método utilizado para estudiar la relación de descomposición de la biomasa respecto a la temperatura y la determinación de las características de volatización con respecto a la humedad, el material volátil, las cenizas y el carbono fijo considerado el componente de mayor importancia energética; siendo este último la masa de materia orgánica restante que queda después de liberar el material volátil y la humedad. De igual forma este análisis lo llevara a cabo el laboratorio del Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE).

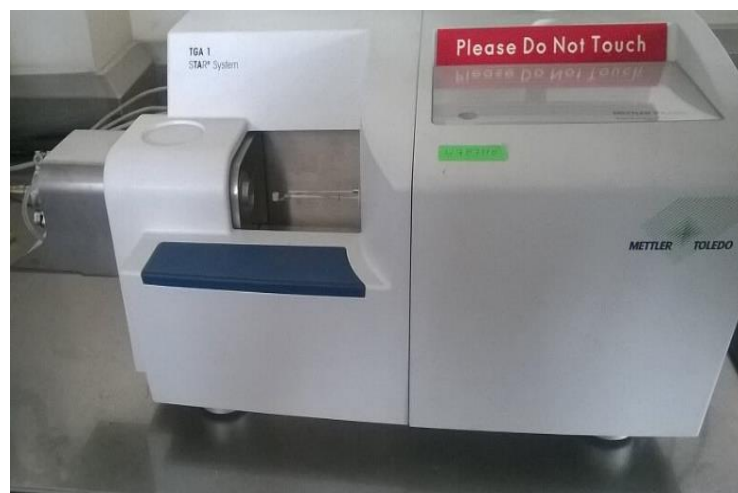
### **3.5 Análisis Estructural del Lechuguín Seco (*Eichhornia Crassipes*) con Hidrocarburo Absorbido**

En el presente análisis se toma en cuenta la relación de la descomposición de la biomasa del lechuguín con el aumento de la temperatura con un monitoreo respecto al tiempo o la temperatura, además se registra la pérdida de peso de la muestra conforme aumenta la temperatura; por medio de este análisis también se puede determinar el Higher Heating Value (HHV) o valor calórico alto (Mukaratirwa et al., 2016).

Por lo cual, el laboratorio de la Universidad Central del Ecuador (UCE) empleará el método termogravimétrico (TGA) con ayuda del equipo analizador TGA marca *METTLER TOLEDO* que permitirá analizar reacciones de descomposición de materiales lignocelulósicos (lignina, celulosa y hemicelulosa) presente en el lechuguín (*Eichhornia Crassipes*) con hidrocarburos absorbidos (Mukaratirwa et al., 2016).

#### **Figura 10**

*Analizador TGA marca METTLER TOLEDO*



### **3.6 Análisis Multicriterio con el método AHP para la Aplicación Bioenergética del Lechuguín Seco (*Eichhornia Crassipes*) con Hidrocarburos**

Para el cumplimiento del último objetivo se realizará un proceso analítico de jerarquización (AHP) con la técnica de análisis de decisión multicriterio



(MCDA) respecto a los posibles usos del lechuguín seco con los diferentes hidrocarburos absorbidos (aceites usados, lubricantes, diésel) para lo cual se tomarán en cuenta los resultados de los diferentes análisis elementales, proximales, estructurales y de poder calorífico para determinar la aplicación bioenergética más eficiente a fabricar que puede ser en forma de un biocombustible de segunda generación, biogás, en forma de briquetas o pellets.

Para el presente estudio se escogió la técnica AHP que es el método MCDA más sobresaliente al momento de la evaluación y selección de tecnologías en el área de las energías renovables, la cual fue desarrollada por Saaty (1990), a través de esta metodología se eliminan juicios inconsistentes realizando una verificación de consistencia; además plantea una serie de pasos para tomar una decisión de manera coherente y organizada:

- 1) Definir el problema y determinar el área de conocimiento que se generará.
- 2) Desde la parte superior se debe estructurar la jerarquía de decisión con la meta propuesta, luego los objetivos con una visión amplia para complementar con los niveles intermedios hasta los niveles inferiores; estos son usualmente son las alternativas.
- 3) Construir un conjunto de matrices de comparaciones pareadas, de esta manera cada elemento en un nivel superior se usa para comparar los elementos en el nivel inmediatamente inferior con respecto de él.
- 4) Las prioridades resultantes de las comparaciones se utilizarán para pesar las prioridades en los niveles inferiores y así sucesivamente hasta que se obtengan las prioridades finales de las alternativas en el nivel más bajo de la construcción jerárquica (pg.37).

En este caso para realizar las comparaciones de pares es necesario una escala numérica como la tabla 6 que permitirá identificar cuantas veces es más importante un elemento sobre otro elemento, con respecto a los criterios con los que se están comparando (Saaty, 1990).

**Tabla 6***Escala de Comparación del método AHP*

Intensidad de Importancia	Definición
1	Igual Importancia
3	Importancia Moderada
5	Fuerte Importancia
7	Muy fuerte o importancia demostrada
9	Importancia extrema
Valores Recíprocos	Si la actividad i tiene uno de los números diferente de cero ya nombrados, cuando se compara con la actividad j, entonces la actividad j tiene el valor recíproco correspondiente cuando se compara con la actividad i.

*Nota.* Adaptada de *Proceso Analítico de Jerarquización (AHP)*, de Saaty, 1990. CC BY 2.0

Con el resultado de la matriz de comparaciones pareadas se procederá a obtener todos los pesos de importancia relativa de cada uno de los criterios por medio de la técnica de auto-vectores, finalmente se multiplica cada uno de los pesos con cada una de las alternativas y los criterios planteados para obtener la puntuación de cada alternativa y por ende tomar la decisión correcta para la investigación (Saaty, 1990).

## Capítulo IV

### Resultados y Discusión

En el presente capítulo se muestra los resultados de cada uno de los objetivos propuestos, dichos resultados fueron obtenidos en base a la metodología descrita en el capítulo III de manera lógica y ordenada; la información se muestra en tablas y gráficas para una comprensión clara y detallada para explicar el propósito de este tema de investigación sobre el material absorbente *E. Crassipes*.

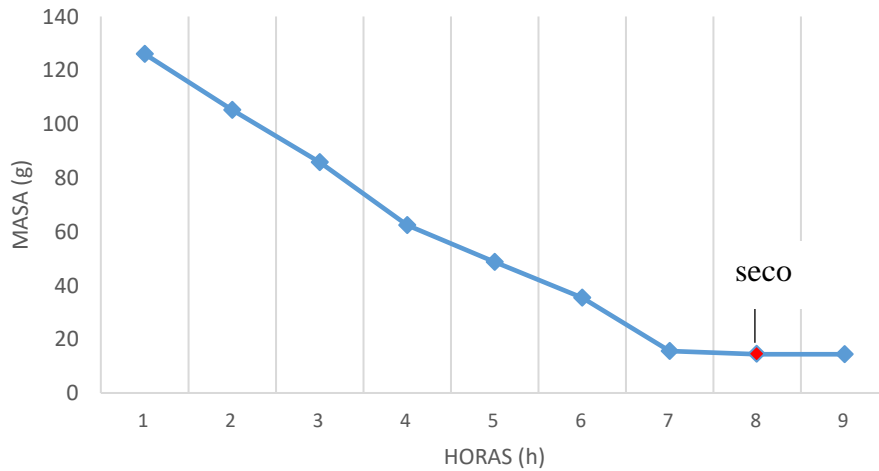
#### 4.1 Contenido de Humedad

La humedad contenida en las muestras del lechuguín se representa en un gráfico que disminuye conforme aumenta el tiempo de secado hasta llegar al punto en que ya no es posible extraer más humedad de las muestras, manteniéndose una cantidad de masa estable; cada una de las muestras se seca al mismo tiempo debido al tamaño uniforme de las muestras, sin embargo, la cantidad de humedad que se extraiga será mínima debido al pre-secado. Por último, se determina que el tiempo de pre-secado tiene un total de 72 horas necesarias para obtener una biomasa seca a una temperatura de 65°C y una hora en la estufa Memmert a 105°C para eliminar por completo la humedad del lechuguín.

En la figura 11 se realiza un seguimiento de la pérdida de humedad desde la muestra sin triturar inicial de 126.07 g hasta la muestra final sin humedad la cual no varía de 14.4 g; además en las tres primeras horas se aprecia una rápida reducción de humedad en comparación de las cuatro últimas horas donde las pérdidas ya no son significativas, de esta manera se obtiene una pérdida de humedad completa del lechuguín *Eichhornia Crassipes* al cabo de ocho horas; así se establece el contenido de humedad de los bulbos del lechuguín *E. Crassipes* el cual contaba con un peso inicial de 126.07g y un peso final de 14.4g, estos valores representan en la muestra una humedad del 88.58% por medio de la aplicación de la ecuación 1, de esta manera Solis & Vásquez (2019) también obtienen un contenido de humedad alto con el 90% lo cual demuestra el problema del gran contenido de humedad que posee el lirio acuático.

**Figura 11**

*Pérdida de masa E. Crassipes*



*Nota.* Resultado de la pérdida de masa del lechuguín *E. Crassipes*.

## 4.2 Absorción de Hidrocarburos

Para analizar la absorción de los hidrocarburos por parte del material absorbente del lechuguín *E. Crassipes* es necesario tener en cuenta el tiempo de saturación que tendrá con los hidrocarburos M1\_A (aceite), M2\_D (diésel), y M3\_L (lubricante) conforme se apliquen los tiempos de saturación, los cuales son intervalos de 5min, 10min, 15min, 30min, 45min y 60 minutos, también se analizará una vez transcurrido 24 horas desde la aplicación del hidrocarburo; además por razones de seguridad se elige una absorción de hidrocarburos de no más del 50%.

### 4.2.1 Saturación y Absorción Muestras con Hidrocarburos

Para el cálculo del porcentaje de absorción se emplea la norma ASTM F726-99: Standard Test Method for Sorbent Performance of Adsorbents donde consta la aplicación de la ecuación 2; en las tablas 7, 8 y 9 se pueden apreciar diferentes tiempos de saturación de 5min, 15min, 30 min, 60min y 24 hrs para los distintos hidrocarburos con el fin de determinar el tiempo de absorción idóneo para estos tipos de hidrocarburos.

En la tabla 7 al cabo de 5min de exposición se verifica las propiedades absorbentes al registrarse una capacidad de absorción ( $C_{ab}$ ) de más del 20%, al continuar de este modo se determinó el tiempo necesario para obtener una absorción

del 50% por parte del lechuguín seco, esta capacidad de absorción se obtuvo una vez transcurrido 60 min desde su exposición con el aceite usado.

**Tabla 7**

*Saturación y Porcentaje de Absorción de Hidrocarburos*

M1_A (Aceite Usado)					
Tiempo Cantidades	5 min	15 min	30 min	60 min	24 hrs
mt (g)	9.05	10.42	10.51	11.45	10.02
mo(g)	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Cab (%)	20.7	38.9	40.1	52.7	25.3

En la tabla 8 con respecto al diésel usado el tiempo de absorción idóneo para este tipo de hidrocarburo se encuentra al cabo de 60min de exposición del lechuguín con el hidrocarburo, sin embargo, en este caso se aprecia una disminución en la capacidad de absorción del 8.7% al cabo de 5 min con respecto al aceite usado; no obstante, se alcanza una absorción del 48.3% en un tiempo de una hora.

**Tabla 8**

*Saturación y Porcentaje de Absorción de Hidrocarburos*

M2_D (Diésel Usado)					
Tiempo Cantidades	5 min	15 min	30 min	60 min	24 hrs
mt (g)	8.15	8.92	9.52	11.12	9.28
mo(g)	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Cab (%)	8.7	18.9	26.9	48.3	23.7

En la tabla 9 con respecto al lubricante usado el tiempo de absorción idóneo para este tipo de hidrocarburo a diferencia de la muestra M1\_A y M2\_D se encuentra al cabo de 30min de exposición del lechuguín con el hidrocarburo, sin embargo, en este caso se aprecia un aumento en la capacidad de absorción del 28.3% al cabo de 5 min con respecto al aceite usado y el diésel usado; no obstante, se alcanza una absorción superior al 50% al pasar los 30min de exposición.

**Tabla 9***Saturación y Porcentaje de Absorción de Hidrocarburos*

M3_L (Lubricante Usado)					
Tiempo Cantidades	5 min	15 min	30 min	60 min	24 hrs
mt (g)	9.62	10.84	12.01	14.05	12.22
mo(g)	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Cab (%)	28.3	44.5	60.1	87.3	62.9

**4.3 Calorimetría *Eichhornia Crassipes***

Con el análisis de poder calorífico del lechuguín con y sin hidrocarburos se identificó el contenido más alto de poder calórico en la muestra M3\_L con 30.19 MJ/kg a diferencia de la muestra M2\_D la cual posee un valor inferior de 14,99 MJ/kg, además en la tabla 10 otro resultado significativo es la muestra M1\_A que contiene un poder calorífico de 26.44 MJ/kg y finalmente la muestra M0\_BS con 15.06% MJ/kg, por lo cual el lechuguín con lubricante (M3\_L) liberaría una mayor cantidad de energía al momento de ser combustionado.

Con respecto a la muestra sin hidrocarburos (M0\_BS) con 15.06 MJ/kg se encontraron resultados similares a los vistos en literatura como lo determino Solis & Vásquez (2019) con un PCSS de 15.87 MJ/kg, de igual manera Pereira & Marinho (2015) los cuales indicaron un valor PCSS de 15.52 MJ/kg para el lechuguín en base seca, aunque ninguno analizo el PCSS con los hidrocarburos absorbidos que se estudian en esta investigación. Además, las variaciones que existen de PCSS se deben a los diferentes hidrocarburos absorbidos y las cantidades de cenizas encontradas en cada uno de ellas como lo indica la tabla 12; como se mencionó anteriormente a menor producción de ceniza mayor es la energía liberada en procesos de combustión directa (Rueda & Tannous, 2017).

**Tabla 10***Valor del Poder Calorífico**Superior de E. Crassipes*

Variedad	PCSS Promedio [MJ/kg]
M0_BS	15.06
M1_A	26.44
M2_D	14.99
M3_L	30.19

#### **4.4 Análisis Elemental y Proximal del lechuguín seco (*Eichhornia Crassipes*) con Hidrocarburos Absorbidos**

Los ensayos realizados permitieron conocer las características químicas y físicas presentes en el lechuguín seco *E. Crassipes* con cada uno de los hidrocarburos derramados empleados en este estudio, esto fue posible por medio de los métodos y análisis elegidos; los ensayos se llevaron a cabo en laboratorio del Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE).

##### **4.4.1 Composición Elemental del lechuguín *E. Crassipes* con hidrocarburos derramados**

Los resultados del análisis elemental muestran que la cantidad de carbono (C) es mayor en la muestra M3\_L con un porcentaje del 77.35%, seguido de la muestra M1\_A con 67.58%. A su vez, la cantidad de nitrógeno (N) más elevada se encuentra en la muestra sin hidrocarburos (M0\_BS) con 2.90% y en segundo lugar se encuentra la muestra M2\_D con un porcentaje del 2.54%; Por otro lado, la muestra M3\_L presenta una mayor proporción de hidrogeno con 20.40% y la menor proporción se encuentra en la muestra M2\_D con 5.30%, como también en la cantidad de azufre (S) con 0% como lo demuestra la tabla 11. Estos resultados se convierten en un indicador que expone las ventajas del lechuguín seco con hidrocarburos derramados al momento de combustionar el lechuguín puesto que al

presentar una baja cantidad de N y S las emisiones de NOx y SOx serán bajas (Rueda & Tannous, 2017).

Otros autores con este análisis obtuvieron resultados similares a la muestra M0\_BS como Matsumara (2012) y Bergier et al (2012) que indican valores bajos de nitrógeno y azufre los cuales no superan el 3.15% en ninguno de los dos casos, por otro lado, Muhammad et al (2016) indica valores de C de 45.25% y H de 5.2% que permiten verificar y validar los resultados obtenidos en el análisis de la composición elemental.

Las cantidades presentes de N, C, H y S en las muestras del lechuguín sin hidrocarburos están dentro de los rangos establecidos y observados en la revisión de literatura, sin embargo, en las investigaciones revisadas no se realizaron análisis de composición elemental del lechuguín con hidrocarburos absorbidos.

**Tabla 11**

*Análisis Elemental de E. Crassipes en  
Porcentaje de N, C, H, S*

Muestra	C [%]	N [%]	H [%]	S [%]
M0_BS	37.59	2.90	6.72	0.18
M1_A	67.58	0.58	16.08	0.27
M2_D	38.29	2.54	5.30	0
M3_L	77.35	0.66	20.40	0.61

#### **4.4.2 Composición Proximal del Lechuguín E. Crassipes con Hidrocarburos Derramados**

Con el siguiente análisis en la variedad M2\_D se encontró un mayor porcentaje de humedad con 13.14%, seguido de la muestra en base seca (M0\_BS) con 7.28% y la muestra M3\_L presento el menor porcentaje con 1,10%, el carbono fijo con 1.74% y con un mayor valor se presentó la muestra M2\_D con 13.87%. Por otro lado, el material volátil presente en la muestra M3\_L fue la más significativa con 95.39% y el valor mínimo presente con la muestra M0\_BS con 71.53%. Además, con respecto a las cenizas se encontró una diferencia significativa con



respecto a la muestra M0\_BS con 16.20% y la muestra M1\_A con 2.41%; los resultados de la caracterización se presentan en la tabla 12.

**Tabla 12**

*Análisis Proximal de E. Crassipes en Porcentaje*

Muestra	Cenizas [%]	Material Volátil [%]	Carbono fijo [%]	Humedad [%]
M0_BS	16.20	71.53	13.78	7.28
M1_A	2.41	95.18	2.42	5.19
M2_D	14.06	72.08	13.87	13.44
M3_L	2.88	95.39	1.74	1.10

Los resultados del análisis proximal de la muestra M0\_BS son similares con otros valores vistos en literatura, como Sukarni et al (2019) el cual consigue resultados de Cenizas de 21.1%, para el material volátil con 64.4%, el carbono fijo con un valor del 14.5% y Munjeri et al (2016) obtuvo los datos de humedad con el 7.8%, contenido de cenizas 12.4%, el material volátil un valor del 65.7% y finalmente el carbono fijo con 20.7%; estos son valores próximos a los obtenidos en esta investigación, sin embargo los estudios revisados no cuentan con un análisis proximal del lechuguín con hidrocarburos absorbidos.

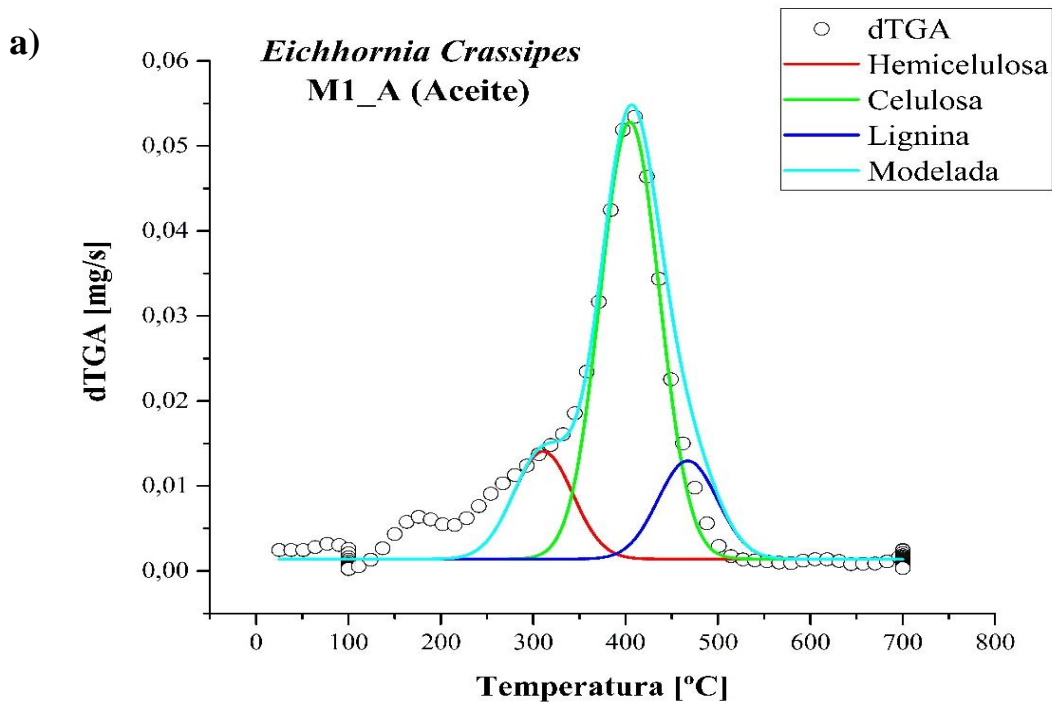
Entonces, los análisis demuestran un bajo contenido de cenizas en las muestras una y tres, es beneficioso para la combustión directa respecto a una mayor energía liberada con empleo del lechuguín con hidrocarburos derramados; con respecto a los materiales volátiles se obtienen valores superiores al 70% en cada una de las muestras, esto permite aumentar el rendimiento de la combustión del lechuguín con hidrocarburos absorbidos (Rueda & Tannous, 2017). Sin embargo, la Sociedad General de Vigilancia (SGS) (2020) menciona que un alto nivel de material volátil representa un riesgo de combustión espontánea.

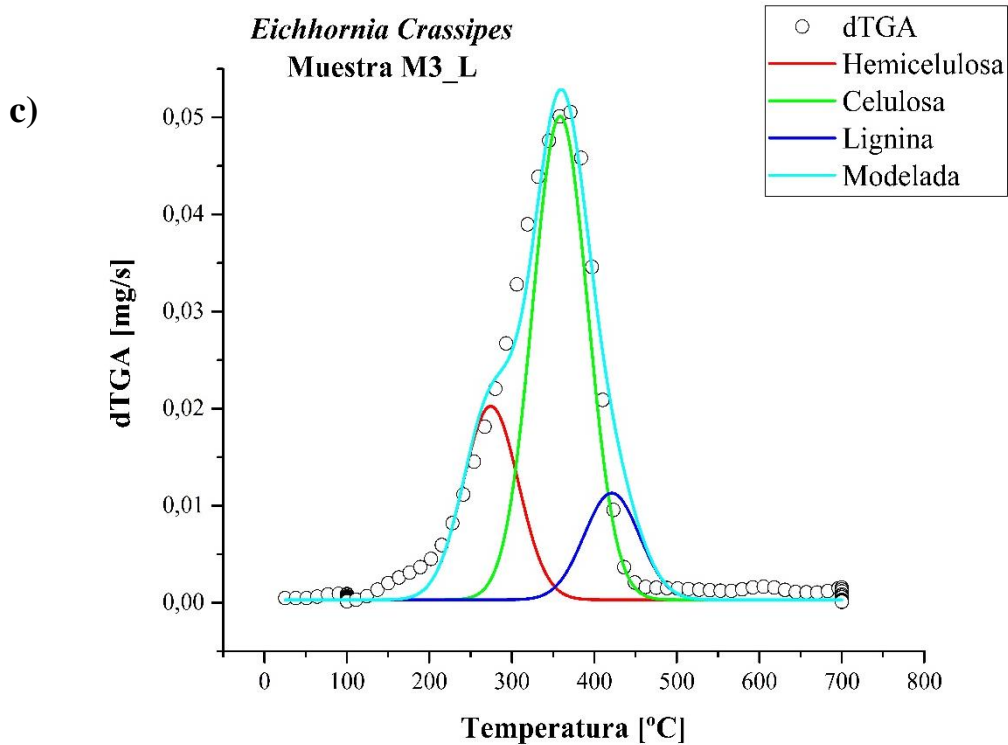
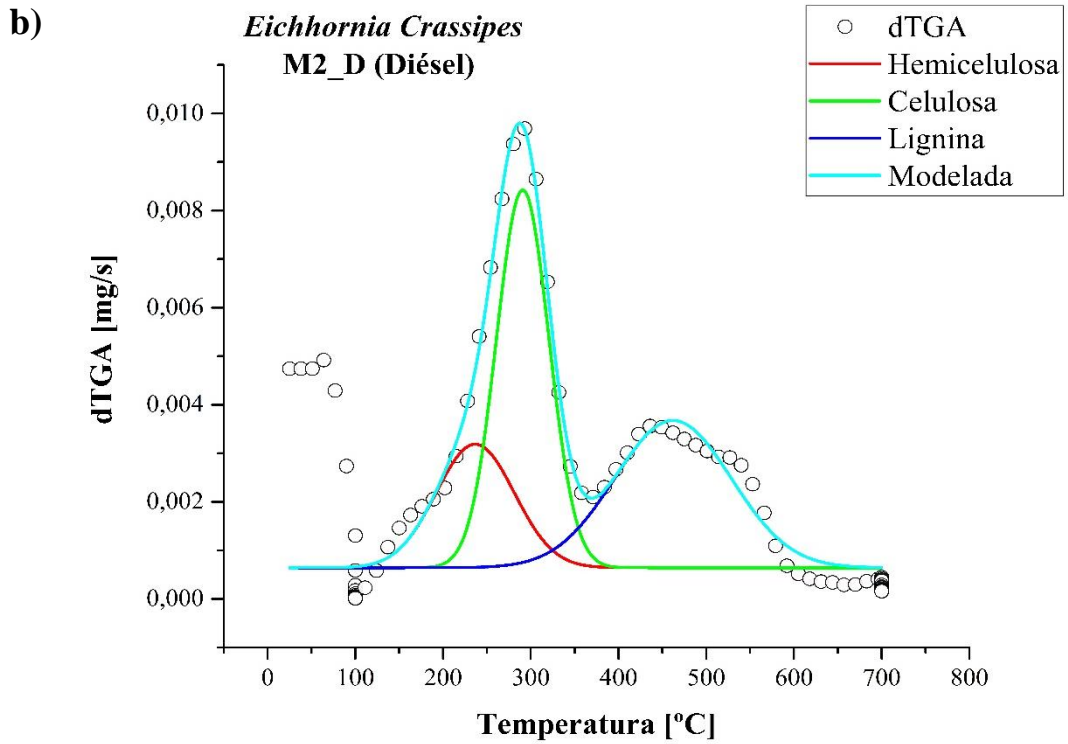
#### 4.5 Análisis Estructural del Lechuguín Seco (*Eichhornia Crassipes*) con Hidrocarburos Absorbidos

Los resultados del análisis por termogravimetría o TGA permitieron la construcción de curvas de tasa de conversión como función de la temperatura en °C mostrado en el eje x, mientras que en el eje y se halla la derivada TGA en mg/s para cada una de las muestras del lechuguín seco con hidrocarburos absorbidos. En la figura 12 se muestra la curva conseguida a partir de los parámetros cinéticos fijos con el esquema de reacciones paralelas autónomas la misma fue representada como una línea continua, por otro lado los datos experimentales están representados por símbolos circulares (o); de esta manera en la curva derivada TGA se presentaron picos en la curva que indican el punto en el que los componentes de la lignocelulosa combustionan, al deconvolucionar por medio del programa Originlab 2016 se obtienen curvas de colores, donde la línea roja representa la hemicelulosa, la verde es celulosa y el color azul representa a la lignina; dicho análisis lo llevara a cabo el Laboratorio Químico de la Universidad Central del Ecuador (UCE).

**Figura 12**

*Curva de Tasa de Conversión como Función de la Temperatura de las muestras*





*Nota.* Los resultados se obtuvieron por medio del Software OriginPro 2016, dichos resultados servirán para la determinación del porcentaje de los componentes lignocelulósicos.

En la figura 12 (a) el cálculo del área bajo la curva de hemicelulosa para la muestra M1\_A resulto en 1.01939 a diferencia de la celulosa con un valor de 4.14209 y la lignina con 0.93051; por otra parte, en la figura 12 (b) el valor del área bajo la curva en el caso de la hemicelulosa es de 0.28455, en el caso de la celulosa obtiene un valor de 0.58481 y lignina con 0.31251. Por último, en la figura 12 (c) para la muestra con lubricante (M3\_L) el área bajo la curva en la hemicelulosa es 1.6707, para la celulosa un valor de 4.14326 y lignina con 0.92136.

Los parámetros analizados se presentan en la tabla 13 empleados para la construcción de datos y curvas modeladas (figura 12), la muestra con aceite usado (M1\_A) obtuvo un valor mínimo de hemicelulosa con 18.67%, resultados superiores tienen las muestras M2\_D con 37.04 y M3\_L con 22.06; Por otra parte, el contenido de celulosa de la muestra M1\_A es de 65.33 y un contenido inferior tiene la muestra M2\_D con 46.85. Finalmente, en el caso con mayor contenido de lignina fue la muestra M2\_D con 16.11%.

**Tabla 13**

*Parámetros Estructurales del Lechuguín con Hidrocarburos Absorbidos*

Muestra	Promedio Hemicelulosa [%]	Promedio Celulosa [%]	Promedio Lignina [%]
M1_A	18.67	65.33	16.00
M2_D	37.04	46.85	16.11
M3_L	22.06	62.65	15.29

Con respecto al lechuguín seco *E. Crassipes* sin hidrocarburos absorbidos la composición estructural es aproximadamente 48% de hemicelulosa, 18% celulosa y 3.5% para la lignina según Ospino & Ríos (2012) a pesar de presentar variaciones con otros autores como Rodríguez et al (2018) con un contenido de hemicelulosa del 30.8%, celulosa 28% y lignina 17.44%, en términos generales se coinciden contenidos altos de hemicelulosa y bajos contenidos de lignina. Sin embargo, este

estudio se enfoca a evaluar los contenidos lignocelulósicos del lechuguín con hidrocarburos absorbidos; encontrándose alteraciones en los porcentajes de las muestras, la tabla 13 presenta un valor máximo de celulosa 65.33%, con respecto a la lignina se coincide en todas las muestras con un contenido bajo con un valor mínimo de 15.29%, y finalmente la hemicelulosa en la muestra M1\_A presenta un valor máximo de 37.04%.

Por último, cabe recalcar, una mayor cantidad de celulosa y hemicelulosa es beneficiosa para la obtención de bioetanol mediante un sistema con hidrólisis enzimática, como también una cantidad mínima de lignina aumenta los rendimientos de producción y disminuye costos (Ospino & Ríos, 2012).

#### **4.6 Análisis Multicriterio por el método AHP para la Aplicación Bioenergética del Lechuguín Seco (*Eichhornia Crassipes*) con Hidrocarburos Absorbidos**

En las tablas 14, 15 y 16 se contrastan las prioridades de cada variable escogida para determinar una aplicación bioenergética para todas las muestras en el caso de ser aplicables para generación de biogás, bioetanol o por combustión directa basado en los resultados previos obtenidos y los criterios escogidos en la matriz de comparación pareada.

De acuerdo a las ponderaciones empleadas en la tabla 14 el criterio con mayor porcentaje de influencia por el método AHP, para la muestra M3\_L (lubricante) es la aplicación bioenergética por combustión directa con 53%, seguida de la producción de bioetanol con 29% y finalmente la generación de biogás con el 16%. Con respecto a la tabla 15 el criterio con mayor porcentaje de influencia para la muestra M2\_D (diésel) es la aplicación para la generación de bioetanol con el 54%, en segundo lugar, por combustión directa con 29% y biogás con 16%.

Finalmente, en la tabla 16 se presentan dos criterios con mayor porcentaje de influencia en la muestra M1\_A (Aceite) las aplicaciones son por combustión directa con 52% y la generación de bioetanol con 33% y finalmente biogás con 13%.

**Tabla 14**

*Matriz de comparación pareada para determinar prioridades de cada variable de la muestra con lubricante*

Muestra M3_L				Prioridades
Muestras	Combustión Directa	Bioetanol	Biogás	
Combustión Directa	<b>1.0</b>	2.0	3.0	0.53
Bioetanol	0.50	<b>1.0</b>	2.0	0.29
Biogás	0.33	0.50	<b>1.0</b>	0.16

**Tabla 15**

*Matriz de comparación pareada para determinar prioridades de cada variable de la muestra con diésel*

Muestra M2_D				Prioridades
Variables	Combustión Directa	Bioetanol	Biogás	
Combustión Directa	<b>1.0</b>	0.5	2.0	0.29
Bioetanol	2.0	<b>1.0</b>	3.0	0.54
Biogás	0.5	0.33	<b>1.0</b>	0.16

**Tabla 16**

*Matriz de comparación pareada para determinar prioridades de cada variable de la muestra con aceite*

Muestra M1_A				Prioridades
Variables	Combustión Directa	Bioetanol	Biogás	
Combustión Directa	<b>1.0</b>	2.0	3.0	0.52
Bioetanol	0.5	<b>1.0</b>	3.0	0.33
Biogás	0.30	0.33	<b>1.0</b>	0.13

Con respecto a la aceptación de las ponderaciones planteadas en la matriz de comparación pareada se basa en la consistencia de valores, de esta manera Saaty (2008) planteó la razón de consistencia (RC), fundamentado en la solución por vectores propios del problema, el cual acepta una matriz como consistente cuando  $RC \leq 0.10$ ; en el presente estudio RC fue menor a 0.01 lo cual implica un correcto de empleo de los juicios planteados en la matriz pareada.

## **Capítulo V**

### **Conclusiones y Recomendaciones**

#### **5.1 Conclusiones**

El lechuguín *Eichhornia Crassipes* con hidrocarburos absorbidos presenta un contenido de nitrógeno con valores inferiores al 0.58% y azufre inferior al 0.61%; los resultados son inferiores en comparación a otras variedades como el bagazo de caña y demuestra ser favorable para el uso mediante combustión directa.

El lechuguín *E. Crassipes* con lubricante usado presenta un contenido de cenizas inferior al 2.5%, un valor elevado de materiales volátiles con 95.39% y un poder calorífico de 30.19 MJ/kg los resultados son favorables también para obtener un mayor rendimiento mediante la combustión directa.

Además, el análisis TGA y el análisis multicriterio indicaron que la muestra M2\_D (diésel) destaca del resto de muestras por poseer un contenido superior de hemicelulosa con 37.04% y celulosa 46.85%, y contenido bajo de lignina con 16.11%, posicionándola como la variedad con un mayor rendimiento al momento de aplicarla para la producción de bioetanol.

Finalmente, gracias al método AHP se demostró que la muestra M1\_A (aceite) posee características que permiten su aplicación por dos vías, una de ellas con 52% es la quema directa del lechuguín con aceite usado y con un 33% es factible la producción de bioetanol por medio del empleo del lechuguín *E. Crassipes* con aceite usado de cocina.

#### **5.2 Recomendaciones**

Realizar estudios detallados con ayuda de un análisis termo-gravimétrico (TGA) y complementados por ensayos de Espectroscopia de Infrarrojo Cercano (NIR) para establecer valores precisos en cuanto a la composición lignocelulósica del lechuguín con hidrocarburos absorbidos.

Realizar una aplicación en campo del lechuguín seco triturado en mecánicas, lubricadores y gasolineras que presenten derrames de hidrocarburos para evaluar los cambios de rendimiento con los resultados de laboratorio obtenidos en esta investigación enfocada a la diversificación de la matriz energética del Ecuador.



Realizar experimentaciones con diferentes metodologías de descomposición de lignina presente en el lechuguín con hidrocarburos absorbidos con el fin de mejorar el rendimiento en los procesos de producción de bioetanol.

## 6 Referencias

- Abdelhamid, A., & Gabr, A. (1991). *Evaluation of water hyacinth as a feed for ruminants*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/17450399109428519>
- Agencia de Regualción y Control Hidrocarburifero. (2019). *Informe de Gestión 2019*.
- Ahn, D., Kim, S., & Yun, H. (2011). *Optimization of pretreatment and saccharification for the production of bioethanol from water hyacinth by Saccharomyces cerevisiae*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00449-011-0600-5>
- APEL. (2020). *Boletín del Sector Lubricantes 2020*.
- ARCH. (2019). *Informe de Gestión 2019*.
- Arroyo, J., & Gutiérrez, M. (2014). *Afectaciones y consecuencias de los derrames de hidrocarburos en suelos agrícolas de Acatzingo, Puebla, México*.
- Atehortua, E., & Gartner, C. (2013). *Estudios Preliminares de la biomasa seca de EICHHORNIA CRASSUPES como absorbente de plomo y cromo en aguas*.
- BETA. (2018). *Combustibles Alternos. ¿Qué Son Los Biocombustibles?* <https://www.betalabservices.com/espanol/biocombustibles/sobre-los-biocombustibles.html>
- Bhattacharya, A., & Kumar, P. (2010). *Water hyacinth as a potential biofuel crop*.
- Bolenz, S., Omran, H., & Gierschner, K. (1990). *Treatments of water hyacinth tissue to obtain useful products*.
- Calderón, M. (2015). *Determinación de la influencia del lechuguín (Eichhornia Crassipes (Mart.) Solms) y lenteja de agua (Lemna spp.) en la reducción de la dureza del agua de riego de la empresa de flores del Cotopaxi S.A.*
- Cando, M. (2011). *Determinación y Análisis de un Proceso de Biorremediación de Suelos Contaminados por Hidrocarburos*.
- Chanakya, H., Borgaonkar, S., Meena, G., & Jagadish, K. (1996). *Solid-phase biogas production with garbage or water hyacinth*. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0960-8524\(93\)90125-U](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0960-8524(93)90125-U)
- Donoso, D. (2015). *Manejo del material vegetal lechuguín (Eichhornia Crassipes) y lenteja de agua (Lemna sp) generados en la planta de tratamiento de aguas residuales en la Parroquia de Chaltura*.
- EPA. (2018). *Land, Waste, and Cleanup Topics*.
- Erazo, G. (2017). *LA CONTAMINACIÓN POR ACEITES LUBRICANTES USADOS EN EL CANTÓN GUANO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO Y LOS DERECHOS CONSTITUCIONALES DEL BUEN VIVIR DE SALUD Y AMBIENTE SANO*.

- FAO. (2010). *Biocombustibles*.
- Fonseca, F., Gonzáles, D., Rodríguez, G., & Montenegro, L. (2005). *Biomateriales sorbentes para la limpieza de derrames de hidrocarburos en suelos y cuerpos de agua*.
- Girisuta, B., Danon, B., Manurung, R., Janssen, L., & Heeres, H. (2008). *Experimental and kinetic modelling studies on the acid-catalysed hydrolysis of the water hyacinth plant to levulinic acid*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.02.045>
- Gonzáles, P., & Vélez, J. (2015). *APLICACIÓN DE LA BIOMASA DEL LECHUGUIN (Eichhornia crassipes) COMO ALTERNATIVA DE FILTRADO DE METALES PESADOS EN SISTEMAS DE FILTRACION COMERCIAL*.
- Güemez, A. (2018). *Síntesis de materiales estirénicos de impacto por el proceso de polimerización resistentes a la flama a través de la incorporación de nanocargas del tipo vermiculita*. <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/572/1/TESIS MTP Andrea A Güemez Hdz 3 oct 2018.pdf>
- Hilpert, M., & Bernat, A. (2015). *Hydrocarbon Release During Fuel Storage and Transfer at Gas Stations: Environmental and Health Effects*.
- Jerves, D. (2012). *Aprovechamiento del Lechuguin "EICHHORNIA CRASSIPES" para la generación de abono orgánico mediante la utilización de tres diseños diferentes de biodigestores*.
- Lazcano, M., Hernandez, I., & Cuervo, R. (2016). *Poaceae: una alternativa en la remoción de hidrocarburo*.
- Lozada, E. (2019). *Eficiencia de cuatro biomásas de eichhornia crassipes en la remoción de cadmio en aguas residuales del tragadero yacuchingana – cajamarca*.
- Ma, F., Yang, N., Xu, C., Yu, H., Wu, J., & Zhang, X. (2010). *Combination of biological pretreatment with mild acid pretreatment for enzymatic hydrolysis and ethanol production from water hyacinth*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.07.084>
- Martelo, J., & Borrero, L. (2012). *Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado de arte*.
- Martinez, F., Arias, J., & Cruz, 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 experimenta*.
- Mendoza, J. (2014). *ANALISIS DE FACTIBILIDAD DE INTRODUCIR EN EL MERCADOR ECUADORIANO UNA MARCA NUEVA DE LUBRICANTES AUTOMOTRICES FABRICADA LOCALMENTE*.
- Mukaratirwa, N., Kugara, J., & Fungayi, M. (2016). *Surface composition and surface properties of water hyacinth (Eichhornia crassipes) root biomass*:

- Effect of mineral acid and organic solvent treatment.*  
<https://doi.org/10.5897/AJB2015.15068>
- Mukherjee, R., & Nandi, B. (2004). *Improvement of in vitro digestibility through biological treatment of water hyacinth biomass by two Pleurotus species.*  
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(03\)00112-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0964-8305(03)00112-4)
- Nigam, J. (2002). *Bioconversion of water-hyacinth (Eichhornia crassipes) hemicellulose acid hydrolysate to motor fuel ethanol by xylose-fermenting yeast.* [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0168-1656\(02\)00013-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0168-1656(02)00013-5)
- Ospino, K., & Ríos, L. A. (2012). *Bioethanol production from hyacinth water (Eichhornia crassipes) vs other materials regarding lignocellulosic.*
- Patel, V., Desai, M., & Madamwar, D. (1993). *Thermochemical pretreatment of water hyacinth for improved biomethanation.*  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/BF02788902>
- Poddar, K., Mandal, L., & Banerjee, G. (1991). *Studies on water hyacinth eichhornia crassipes chemical composition of the plant and water from different habitats.*
- Rojas, A. (2021). *Buchón de agua (Eichhornia crassipes): una revisión bibliográfica de su capacidad para remover contaminantes del agua* [Santo Tomas].  
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/31969/2021angierojas.pdf?sequence=7>
- Rueda, Y., & Tannous, K. (2017). *Análisis cinético de la descomposición térmica de biomásas aplicando un esquema de reacciones paralelas independientes.*  
<https://doi.org/https://doi.org/10.18273/revuin.v16n2-2017011>
- Saaty, T. (1990). *Decision making with the analytic hierarchy process.*  
<https://www.rafikulislam.com/uploads/resources/197245512559a37aadea6d.pdf>
- Sánchez, E., & Harold, L. (2017). *Análisis de la amenaza presente en la infiltración de combustibles líquidos en las estaciones de servicio de la ciudad de Barranquilla.*
- Solis, E., & Vásquez, G. (2019). *Evaluación del potencial energético de la Eichhornia Crassipes para su aplicación como biocombustible.*
- Sornvoraweat, B., & Kongkiattikajorn, J. (2010). *Separated hydrolysis and fermentation of water hyacinth leaves for ethanol production.*
- SUPERCIAS. (2018). *Sector Aceites y Grasas del Ecuador.*
- Torres, A. (2019). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE OPTIMIZACIÓN DE LOS DESECHOS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS GENERADOS POR LAS LUBRICADORAS Y LAVADORAS DE AUTOS PARA MINIMIZAR EL IMPACTO AMBIENTAL EN EL CANTÓN LA LIBERTAD, PROVINCIA DE SANTA ELENA.*

- United States Environmental Protection Agency. (2018). *Land, Waste, and Cleanup Topics*. Land, Waste, and Cleanup Topics. <https://www.epa.gov/environmental-topics/land-waste-and-cleanup-topics>
- Vaca, M. (2016). *Diagnóstico de la gestión de derrames de hidrocarburos en gasolineras*.
- Valencia, X. (2017). *Diseño de un Sistema de Recolección de Aceite Usado de Cocina para el Barrio Propicia #2*.
- Viteri, M. (2014). *Combinación biológica de dos especies de humedales vegetales sucesivos como biofiltros para la descontaminación de aguas residuales en la planta de tratamiento "El Peral EP-EMAPA Ambato."*
- Güemez, A. (2018). *Síntesis de materiales estirénicos de impacto por el proceso de polimerización resistentes a la flama a través de la incorporación de nanocargas del tipo vermiculita*. <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/572/1/TESIS MTP Andrea A Güemez Hdz 3 oct 2018.pdf>
- Hilpert, M., & Bernat, A. (2015). *Hydrocarbon Release During Fuel Storage and Transfer at Gas Stations: Environmental and Health Effects*.
- Jerves, D. (2012). *Aprovechamiento del Lechuguin "EICHHORNIA CRASSIPES" para la generación de abono orgánico mediante la utilización de tres diseños diferentes de biodigestores*.
- Lazcano, M., Hernandez, I., & Cuervo, R. (2016). *Poaceae: una alternativa en la remoción de hidrocarburo*.
- Lozada, E. (2019). *Eficiencia de cuatro biomásas de eichhornia crassipes en la remoción de cadmio en aguas residuales del tragadero yacuchingana – cajamarca*.
- Cando, M. (2011). *Determinación y Análisis de un Proceso de Biorremediación de Suelos Contaminados por Hidrocarburos*.
- Chanakya, H., Borgaonkar, S., Meena, G., & Jagadish, K. (1996). *Solid-phase biogas production with garbage or water hyacinth*. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0960-8524\(93\)90125-U](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0960-8524(93)90125-U)
- 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*.