

UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ
EXTENSIÓN EN EL CARMEN
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA
Creada Ley No 10 – Registro Oficial 313 de Noviembre 13 de 1985

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO AGROPECUARIO**

**PRODUCCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE DIFERENTES PARTES
VEGETATIVAS DE LA MUSA PARADISIACA DE LA GRANJA
ULEAM EL CARMEN**

AUTOR: MENDOZA LOOR FRANK HUMBERTO

TUTOR: ING. ELIZABETH TACURI MSc.

El Carmen, julio del 2022

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A).	CÓDIGO: PAT-01-F-010
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO.	REVISIÓN: 1 Página i de 42

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la carrera de Ingeniería Agropecuaria de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido y revisado el trabajo de titulación, bajo la autoría del estudiante Mendoza Loor Frank Humberto, legalmente matriculado en la carrera de ingeniería agropecuaria, período académico 2022-2023, cumpliendo el total de 64 horas, bajo la opción de titulación de proyecto de investigación, cuyo tema del proyecto es “Producción de etanol, a partir de diferentes partes vegetativas de la Musa paradisiaca de la granja ULEAM El Carmen.”.

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Lugar, 28 de junio de 2022

Lo certifico,

Ing. Elizabeth Tacuri MSc.

Docente Tutor

Área: Agricultura, Silvicultura, Pesca y Veterinaria

UNIVERSIDAD LAICA "ELOY ALFARO" DE MANABÍ
EXTENSIÓN EL CARMEN

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

TÍTULO:

Producción de etanol, a partir de diferentes partes vegetativas de la Musa paradisiaca de la granja ULEAM El Carmen.

AUTOR: Mendoza Loor Frank Humberto

TUTOR: Ing. Elizabeth Tacuri MSc.

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AGROPECUARIA

TRIBUNAL DE TITULACIÓN

MIEMBRO _____

MIEMBRO _____

MIEMBRO _____

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a Dios y a mi familia por ser lo más importante en mi vida y ser mi inspiración y ser mi fortaleza para alcanzar todos mis sueños.

A mis padres por ser un ejemplo para seguir y mi motor de toda la vida.

A mi hermano por acompañarme en todos los momentos difíciles y alegres.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme los dones necesarios para cumplir mi objetivo de culminar mis estudios universitarios y alcanzar mi meta de ser un profesional.

A mi familia por darme aliento y confianza para lograr mis metas planteadas.

A mis padres por apoyarme en todas las etapas de mi vida.

ÍNDICE

PORTADA	1
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
ÍNDICE.....	v
TABLAS.....	vii
FIGURAS	viii
ANEXOS	ix
RESUMEN	x
ABSTRATC	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	3
1 MARCO TEÓRICO	3
1.1 Antecedentes	3
1.2 El plátano barraganete <i>Musa paradisiaca</i>	3
1.3 Residuos vegetales	5
1.3.1 Residuos vegetales del plátano	5
1.4 Obtención de etanol	6
CAPÍTULO II.....	8
2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	8
CAPÍTULO III	10
3 DIAGNÓSTICO O ESTUDIO DE CAMPO	10
3.1 Ubicación del ensayo.	10
3.2 Características agroecológicas de la zona.....	10
3.3 Variables en estudio.....	10
3.3.1 Variables independientes.....	10
3.3.2 Variables dependientes	10
3.4 Característica de las Unidades Experimentales	11
3.5 Tratamientos	11
3.6 Diseño experimental	11

3.7	Materiales e instrumentos	12
3.8	Manejo del Ensayo.....	12
3.8.1	Selección del material vegetal	12
3.8.2	Preparación	12
3.8.3	Mezcla con melaza y ácido cítrico	13
3.8.4	Pasteurización.....	13
3.8.5	Inoculación	13
3.8.6	Destilación.....	13
CAPÍTULO III		14
4	EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS	14
4.1	Nivel de pH.....	14
4.2	Cantidad de Mosto Líquido y Mosto Sólido.....	15
4.3	Contenido en Volumen de alcohol destilado	16
4.4	Porcentaje de v/v de alcohol	17
4.5	Costos Directos de Producción	18
CONCLUSIONES.....		19
RECOMENDACIONES		20
BIBLIOGRAFÍA.....		xii

TABLAS

Tabla 1. Características meteorológicas presentadas en el ensayo.....	10
Tabla 2. Disposición de los tratamientos.....	11
Tabla 3. Esquema del ADEVA.....	12
Tabla 4. Costos directos de producción de alcohol de pseudotallo al 45% de v/v.	18

FIGURAS

Figura 1. Niveles de pH de las diferentes partes vegetativas de la planta de plátano barraganete en la obtención de etanol.	14
Figura 2. Cantidad de mosto sólido y líquido como resultado de la obtención de alcohol de las diferentes partes vegetales.	15
Figura 3. Rendimiento de alcohol en ml a partir de residuos vegetales de la planta de plátano barraganete.	16
Figura 4. Porcentaje de alcohol en las mezclas a partir de residuos vegetales de la planta de plátano barraganete.	17

ANEXOS

Anexo 1. Preparado del material vegetal a utilizar.	xvii
Anexo 2. Pesado del material vegetal a utilizar.	xviii
Anexo 3. Pesado del material para hidrólisis.	xviii
Anexo 4. Preparado de las mezclas.	xix
Anexo 5. Establecimiento de los tratamientos.	xx
Anexo 6. Análisis de la varianza para el pH.	xx
Anexo 7. Análisis de la varianza para el contenido de bagazo	xx
Anexo 8. Análisis de la varianza para el contenido de alcohol.	xxi
Anexo 9. Análisis de la varianza para el porcentaje de alcohol v/v.	xxi

RESUMEN

Se realizó un trabajo experimental en la granja experimental “Rio Suma”, en la plata de procesos de alimentos, que pertenece a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí extensión en El Carmen se encuentra en las coordenadas 0°15' S y 79°26' O a 260 msnm de altitud; con el objetivo de producir etanol a partir de diferentes órganos vegetativos del plátano (*Musa paradisiaca*) en el cantón El Carmen - Manabí; para esto se utilizó un diseño cuadrado latino (DCA) con tres tratamientos y tres repeticiones, los tratamientos consistieron en tres partes vegetativas de la planta de plátano (pseudotallo, cormo y raquis); los materiales fueron cortados y licuados, a esta se le agregó agua, melaza y ácido cítrico, además se someterá a un proceso de pasteurización y al final se les suministró levadura previamente activadas. Los resultados obtenidos presentaron una mayor cantidad de bagazo en el cormo con 73,6% mientras que el raquis apenas tuvo 34,6%; en lo relacionado al pH el cormo y el pseudotallo presentaron valores de 5,6 mientras que 4,6 fue el pH del raquis; en cuanto el rendimiento en alcohol el pseudotallo obtuvo la mejor respuesta con una producción de 450 ml seguido del cormo con tan solo 240 ml, en el porcentaje de alcohol estas dos partes vegetativas tuvieron los valores más elevados con 45% y 44% respectivamente.

ABSTRATC

An experimental work was carried out in the "Rio Suma" experimental farm, in the food processing plant, which belongs to the Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí extension in El Carmen is located at coordinates $0^{\circ}15' S$ and $79^{\circ}26' O$ or at 260 meters above sea level; with the objective of producing ethanol from different vegetative organs of the banana (*Musa paradisiaca*) in the canton of El Carmen - Manabí; For this, a Latin square design (DCA) with three treatments and three repetitions was used, the treatments consisted of three vegetative parts of the banana plant (pseudostem, corm and rachis); the materials were cut and liquefied, water, molasses and citric acid were added to it, it will also undergo a pasteurization process and at the end they were supplied with previously activated yeast. The results obtained showed a greater amount of bagasse in the corm with 73.6% while the rachis barely had 34.6%; Regarding the pH, the corm and the pseudostem presented values of 5.6, while 4.6 was the pH of the rachis; Regarding the alcohol yield, the pseudostem obtained the best response with a production of 450 ml followed by the corm with only 240 ml, in the percentage of alcohol these two vegetative parts had the highest values with 45% and 44% respectively.

INTRODUCCIÓN

El etanol se obtiene por medio de la fermentación de los azúcares que se encuentran en la materia orgánica; en el transcurso de este procedimiento se produce alcohol hidratado con un 5% de agua aproximadamente, que al someterla a la deshidratación, este compuesto se puede usar como combustibles; el etanol conseguido al finalizar todo el proceso necesario puede unirse a la gasolina, y formar un tipo de combustible biológico con un alto poder de energía similar a la gasolina original pero con la disminución de la combustión contaminante y perjudicial al medio ambiente (Hernández, 2017).

Los datos estadísticos demuestran la importancia del cultivo en la región, además de que indican la alta cantidad de superficie y producción que presenta dentro de las unidades agrícolas; esta presencia significativa del cultivo en la provincia también muestra la gran cantidad de residuos que genera después de las labores de cosecha y postcosecha, que en las musáceas se aprovecha para la venta únicamente el 20 al 30% de biomasa producida, dejando entre el 70 y 80% en las propiedades en forma de desechos sin utilidad aprovechable (Vargas *et al.*, 2017).

El Ecuador exportó 3,66 millones de toneladas de plátano durante el año 2020, generando un 92% de residuos vegetativos representada en 3,37 millones de t de residuos en las explotaciones de banano, estos residuos en su mayoría son devueltos al suelo, sin embargo, para degradar esa materia orgánica se necesita una alta carga biológica, produciendo grandes cantidades de CO₂, CO y SO entre otras sustancias causantes de los cambios climáticos (Banco Central del Ecuador [BCE], 2021).

Esta cantidad de desperdicios producto del material vegetativo no utilizado para la exportación y venta, ha generado problemas de tipo sanitarios en los cultivos, por el incremento de la población de picudo y otros agentes patógenos perjudiciales para las plantas, también ocasiona problemas ambientales en los casos donde los productores distribuyen estos desechos, los cuales son arrojados a fuentes hídricas o eliminados mediante la quema (Mazzeo *et al.*, 2015).

La alternativa viable a esta situación es el aprovechamiento de estos residuos de tipo vegetal en la obtención de energía orgánica, con la producción de etanol a partir de los restos orgánicos de la planta de plátano, esto no solo ayuda al manejo eficiente de desechos vegetales, sino que también aporta al uso de energía amigable con el ambiente, que disminuye la utilización de combustibles de tipo fósiles que afectan al ambiente (Espinosa, 2013).

Según el Ministerio del Ambiente y Agua, (2021), asegura que “*La Economía Circular es un modelo económico sostenible que busca crear valor mediante la gestión de recursos, bienes y servicios a través de la reducción, reutilización y reciclaje de los elementos involucrados en los procesos productivos*” siguiendo esta meta planteada en nuestro país se pretende generar valor agregado a todo residuo obtenido de la producción agrícola y pecuaria, uno de los productos de gran demanda nacional y mundial es el etanol, este es muy utilizado en la industria de los combustibles, farmacéutica, cosmetología y alimento.

El Ecuador produce más de 40 millones de litros de etanol al año, alcanzando niveles de exportación a países como Perú, Chile y República Dominicana, esta industria a generado, la materia prima principal de etanol es la caña de azúcar, sin embargo existen otras fuentes ricas en azúcares fermentables que pueden aportar considerablemente con una alta producción de etanol (Empresa Pública Petroecuador, 2017).

Objetivo General:

- Determinar el rendimiento del alcohol de diferentes órganos vegetativos del plátano (*Musa paradisiaca*).

Objetivos específicos:

- Determinar el rendimiento de v/v de alcohol obtenida en los diferentes órganos vegetativos del plátano (*Musa paradisiaca*).
- Analizar la calidad fisicoquímica del alcohol según la NTE INEN 2478 obtenida en el tratamiento con mayor rendimiento de etanol.
- Calcular los costos vs beneficios del mejor tratamiento.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes

En Perú la producción de etanol ha sido experimental, en la cual se han probado diversos tipos de productos de origen vegetal para la obtención de este combustible; la pulpa de banano muestra características óptimas para la producción de este material con buenos resultados, entre los que se evaluaron la pureza fue de 30% y un rendimiento de 0,054 ml de etanol por gramo de material vegetal (Araneda *et al.*, 2019).

Un trabajo similar en Perú se realizó para obtener etanol, sin embargo el material vegetal utilizado fue la cáscara de plátano, don se alcanzó una pureza del 95%, el cual se recomienda utilizar para cocinar chifles en cocinas industriales (Zola y Barranzuela, 2018); con las demás partes del cultivo de plátano no se encontró información que se pueda utilizar como base para la presente.

En investigaciones realizadas con melaza en la que se obtuvo alcohol a partir de su su fermentación se encontraron porcentajes de entre el 90 al 95% con una concentración en etanol de 8,5 y 9,5° G L (Vázquez y Dacosta, 2007).

1.2 El plátano barraganete *Musa paradisiaca*

El cultivo de plátano ha logrado extenderse a muchos países tropicales y subtropicales, esto por su gran adaptabilidad a diversos ambientes climáticos, lo que fue aprovechado por las personas para producirlo en gran escala y exportarlo a los demás países (Mejía, 2018); a nivel mundial el plátano ocupa el cuarto lugar entre los productos agrícolas más importantes, lo que ha convertido al plátano como un producto indispensable en la canasta básica, es decir de primera necesidad dentro de la alimentación familia (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], 2018).

El cultivo de plátano en las regiones tropicales y subtropicales se ha posesionado como uno de los más importante a nivel mundial, esto debido a los réditos económicos que representa para los productores y personas que se dedican a esta actividad agrícola, sumado a que genera fuentes de empleos e ingresos económicos en los países desde donde se exportan (Ministerio de Agricultura y Riego, 2014); esta importancia económica se produce al dinamismo del plátano en cuanto al precio del mercado, el cual se caracteriza por los constantes cambios que sufre

cuando disminuye la producción, incrementando el valor del mismo (Ministerio de Agricultura Ganadería Acuicultura y Pesca [MAGAP], 2018).

Según los datos del Instituto Ecuatoriano de Estadística y Censo (INEC, 2022) en el Ecuador existen 145.501 hectáreas cultivadas con plátano, de las cuales 127.895 se encuentran en edad de cosecha, alcanzando una producción de 722.298 toneladas métricas a nivel nacional; la provincia de Manabí ocupa el primer lugar en la actividad productiva del plátano, esta alberga el 39,25% de la superficie plantada de esta musácea, equivalentes a 57.111 ha y cosechada de 50.101 ha, con una producción anual de 276.497 Tm, siendo la provincia de mayor relevancia en este cultivo.

Según las descripciones botánicas de la antigüedad, el plátano apareció por primera vez en el continente asiático, específicamente al sudeste; se han identificado dos géneros dentro de las musáceas, las cuales son la *Musa* y *Ensete*, aunque solo el primero ha tenido la popularidad en los países de producción de este cultivo, las especies que sobresalen del género *Musa* son la *M. acuminata* y *balbisiana*, a partir de estas dos especies se generan todas las variedades de plátano conocidas (Silva, 2018).

Al plátano se le distingue como una planta de tipo herbácea clasificada dentro de los cultivos de ciclo perenne, perteneciente a la familia de las *Musaceas*, con origen en el sudeste de Asia, en las regiones tropicales donde se conocen grandes extensiones de este cultivo, el plátano se describe como una planta de gran tamaño, debido a su pseudotallo que se extiende hasta los 4 metros de altura y las hojas que cubren una gran porción de la superficie de suelo (Tenesaca *et al.*, 2019).

La planta del plátano AAB está compuesta por un tallo verdadero que generalmente se encuentra por debajo de la superficie, también llamado cormo o rizoma, y es de donde crecen las raíces de la planta, de este cormo nace el pseudotallo formado por un conjunto de vainas foliares que se unen para dar forma al falso tallo, que se extiende desde la superficie hasta los 3 o 4 metros de altura, a partir de aquí nacen las hojas, las cuales tienen un gran tamaño y se desarrollan en forma de espiral, el tamaño de estas alcanzan los 2 m de longitud y 0,5 m de ancho (InfoAgro, 2018).

Al momento de la cosecha el tallo o cormo del plátano gabinete puede alcanzar un peso de 657,9 g, mientras que el pseudotallo puede llegar a los 1,77 kg; por otra parte el raquis en promedio reportan un peso de 82,2 g de peso mientras que la cáscara del fruto del plátano barraganete tiene un peso similar al del raquis llegando a los 82,3 g (Calvache *et al.*, 2014).

1.3 Residuos vegetales

Según Haro *et al.*, (2017) se considera residuos vegetales a todos los desperdicios que se generan o provienen de la industria agrícola, estos pueden involucrar las raíces, tallos, hojas, ramas o toda parte de la planta que no se utilizan para un fin industrial o comercial, los cultivos de mayor generación de estos productos son el arroz, banano, plátano y café, estos no son aprovechados adecuadamente y se dejan en el suelo para recuperar las propiedades de este.

A nivel de finca, los propietarios de los cultivos de plátano no tienen un uso específico de los restos vegetales que se producen después de las cosechas, por lo que recurren al amontonamiento de los desechos orgánicos que se acumulan semana a semana de las partes no utilizadas de la planta, en otros casos se redistribuye este material de manera homogénea en el suelo para evitar el cúmulo de insectos y la pudrición de este material que genera mal olor.

Sin embargo, algunos trabajos de investigación enfocados en el manejo de los desechos orgánicos de las plantas de plátano, han utilizado este material para la producción de otros mediante procesos biológicos que permiten la reutilización de los mismos, para utilizarlos dentro del mismo sistema, entre las acciones investigadas están la elaboración de prehumus con el uso de microorganismos y abonos de origen natural que se pueden utilizar para la fertilización (Peñaranda *et al.*, 2017).

Los residuos provenientes de la industria agrícola son una fuente considerable de azúcares y en especial de fibra de almidón, estos se pueden utilizar mediante procesos químicos en subproductos de valor agregado, Montoya, (2002) las alternativas implementadas comúnmente en el país provienen de la mediana y pequeña industria, en el que emplean los residuos para la creación de abonos orgánicos y compostajes.

“En la cosecha del cultivo de plátano o el banano; solo se aprovecha el fruto lo que equivale aproximadamente al 10% o 20% de la plántula, el resto de ella corresponde al follaje, pseudotallo o vástago, raquis y descarte de frutos que no cumplen con parámetros de calidad de exportación o mercado nacional. Estos son denominados residuos agroindustriales y en su mayoría son incinerados, vertidos en fuentes hídricas o convertidos en compost” (Arango *et al.*, 2018).

1.3.1 Residuos vegetales del plátano

El pseudotallo del plátano es la parte más voluminosa de la planta, esta se forma con la unión de las vainas foliares, además el pseudotallo se conforma por los apéndices, limbos,

seudopécíolos y vainas, a través de esta asciende el tallo floral, sin embargo, al momento de la cosecha este debe cortarse para poder obtener el racimo y luego comienza a descomponerse, si este no se trata de manera adecuada puede generar espacios idóneos para la proliferación de insectos (Pedraza, 2019).

El cormo del plátano está considerado como el tallo verdadero de la planta, básicamente de este nacen las raíces y el pseudotallo, el cormo también es la fuente de creación de nuevas plantas, es el medio principal de reproducción, a este se lo conoce como rizoma y se encuentra debajo de la superficie del suelo, sirve de sostén de la planta, su peso en tamaño maduro llega hasta los 350 gramos (Cedeño et al., 2020).

A partir del rizoma crecen las raíces, generalmente estas son superficiales y alcanzan longitudes de 2,5 hasta los 3 m, sin embargo, la mayor cantidad de raíces se concentran hasta en los 20 cm; estas son de color blanco y se pueden tornar amarillentas y con mayor resistencia con el tiempo, la profundidad que alcanzan es muy baja apenas hasta los 1,5 m con gran esfuerzo ya que son débiles, aunque esto puede variar en relación con la textura del suelo (Galán *et al.*, 2018).

El raquis conforma otro de los componentes con mayor volumen de desperdicio, al momento de la cosecha los dedos son cortados y el subproducto sobrante es el raquis o también conocido como pinzote, estos se acumulan en los centros de acopio y mercados generando desperdicios de mayor proporción en contaminación, de los residuos de las plantas este ha sido el de menor aprovechamiento (Caicedo et al., 2020).

En cuanto a las características fisicoquímicas del pseudotallo podemos encontrar que tiene una humedad residual aproximada de 5,89% y un total de cenizas de 16,29%, en relación al contenido de nutrientes, se ha determinado que el pseudotallo concentra en promedio 0,85% de N 0,60% P 5,81% de K 2,95% de Ca y 0,48% Mg (Murgueitio et al., 2019); en el caso del cormo podemos encontrar que en la floración éste ocupa el 45% de la materia seca de toda la planta pero disminuye hasta el 30% en la cosecha, mientras que el raquis representa el 0,26% del peso seco de la planta (Cayón et al., 2016).

1.4 Obtención de etanol

Entre los recursos renovables más abundante en el medio ambiente se encuentra la biomasa que se genera a partir de los desechos agrícolas de las cosechas, todas estas son una fuente importante de energía concentrada en forma de azúcar, todo lo almacenado en los tejidos

vegetales de estos desechos se puede transformar en etanol para múltiples usos especialmente biocombustible el cual se obtiene mediante la fermentación (Alonso y Bello, 2018).

Básicamente el etanol o bioetanol se obtiene por medio de la fermentación de los azúcares que se encuentran en la materia orgánica; en el transcurso de este procedimiento se produce alcohol hidratado con un 5% de agua aproximadamente, que al someterla a la deshidratación, este compuesto se puede usar como combustibles; el etanol conseguido al finalizar todo el proceso necesario puede unirse a la gasolina, y formar un tipo de combustible biológico con un alto poder de energía similar a la gasolina original pero con la disminución de la combustión contaminante y perjudicial al medio ambiente (Hernández et al., 2017).

Una de las ventajas más grande de utilizar el etanol como combustible para los vehículos de transporte con mezcla con la gasolina normal es que para esta combinación no es necesario el uso de la MTBE (Metil Terbutil Éter) este producto aditivo funciona como un oxigenante en las mezclas, esto representa un ahorro en materiales sumado a que se evita la utilización de productos que son perjudiciales para la salud humana (Alonso y Bello, 2018).

La obtención del etanol es un proceso basado en la fermentación alcohólica, básicamente la parte almidonada o la celulosa del material vegetal debe partirse para que pueda hidrolizarse y así obtener glucosa, alcanzado este punto se aplica la fermentación lo que ayuda a conseguir el etanol; sin embargo, todo el proceso inicia con la selección de los materiales y la identificación del tipo de estructura y composición, lo más importante en el primer paso es maximizar la accesibilidad de los azúcares y lograr minimizar la descomposición de carbohidratos (Díaz y Herrera, 2017).

Después de la selección de los materiales se debe separar los agentes contaminantes de los residuos vegetales que puedan limitar el proceso de la obtención de etanol, al terminar la limpieza de los materiales se debe desfibrar y moler los residuos para disminuir el tamaño de las partículas, esto con la finalidad de mejorar la posterior hidrólisis de la mezcla, este proceso se puede realizar por medio de alguna herramienta como un molino o por cocción (Oliva, 2015).

Núñez, (2018) menciona que la hidrólisis es el proceso que continúa para la obtención del etanol, esta se explica mediante la combinación de las moléculas de agua con las moléculas de los materiales utilizados, esto da lugar a la formación de una nueva reacción química, esta hidrólisis se puede realizar con ácidos y enzimas; la fermentación es el proceso donde las moléculas de glucosa se convierten en etanol y dióxido de carbono (Tortora *et al.*, 2018).

CAPÍTULO II

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Se realizó un trabajo de investigación bibliográfico para determinar la producción de biocombustible con la biomasa microalgal, en esta se describen diversos trabajos con resultados referentes a la obtención de biocombustible con el uso de algas, en resumen la investigación determinó lo siguiente:

La mayoría de los estudios están enfocados en la producción de lípidos, siendo *Chlorella vulgaris*, *Nanochloropsis sp.* y *Botryococcus braunii* (A) las microalgas más utilizadas para obtener biodiesel. Sin embargo, existen pocos estudios centrados en la producción de biomasa microalgal para producir bioetanol, así, las microalgas *Porphyridium cruentum* y *Spirogira sp.* podrían utilizarse para producir bioetanol, con la ventaja de no contener lignina. El biogás se produce por biodigestión anaeróbica de los residuos de biomasa microalgal en biorrefinerías, pero su producción comercial está muy limitada por los altos costos productivos y porque existen otras biomásas muy competitivas económicamente. La necesidad de producir biocombustibles utilizando biomasa microalgal, está alcanzando un mayor auge, siendo la propuesta trascendental, poner en marcha una biorrefinería, principalmente enfocada en la producción óptima de biomasa microalgal como la clave principal de todo el proceso. (Jimenez y Castillo, 2021, pág. 265).

En referencia a los desechos del plátano (*Musa paradisiaca* L.) como producto para la obtención de bioetanol se realizó una investigación para determinar las características bromatológicas y la respuesta se resumen de la siguiente manera:

los resultados en los análisis de DNS muestran las cantidades de azúcares reductores y su incremento de este valor cuando los sustratos reciben pretratamientos ácidos, esterilización y pasteurización, así mismo los análisis de HPLC indican que los principales azúcares son la fructosa y glucosa. Las fermentaciones de los sustratos estudiados muestran la producción de bioetanol es mayor cuando los sustratos son esterilizados e inician con valores de pH 5, temperatura 30 °C, azúcares de 100 y 80 g/L. Bajo estas condiciones se logran valores de rendimiento de 64.2. La fermentación discontinua o batch se realizó durante 48 horas. (Fernando et al., 2018, pág. 2277).

En otro trabajo experimental en el que se aprovecharon restos no comestibles de frutas, se realizó la obtención de bioetanol basado en la hidrólisis de desechos de frutas, en el que se obtuvieron los siguientes resultados:

Para la cáscara de naranja, en todos los casos se alcanzó una eficacia de extracción de azúcares reductores próxima al 40%, en la cáscara de plátano las eficacias variaron entre el 20 y el 70% y en la pulpa en todos los casos fueron superiores al 75%. En la cáscara de plátano la mayor concentración de azúcares reductores se obtuvo a 120°C, mientras que para la pulpa de plátano el tratamiento a 135°C mostró los mejores resultados. Se analizó la presencia de compuestos inhibidores de la fermentación (furfural, HMF y ácido acético) y en todos los casos las concentraciones se situaron por debajo de la concentración mínima inhibitoria. Por último, como producto de la fermentación del medio preparado a partir de pulpa de plátano tratada hidrotérmicamente se obtuvo bioetanol con una graduación de 1,7 % (v/v). (Hernández et al., 2017, pág. 115).

CAPÍTULO III

3 DIAGNÓSTICO O ESTUDIO DE CAMPO

3.1 Ubicación del ensayo.

La investigación se llevó a cabo en la granja experimental “Rio Suma”, en la plata de procesos de alimentos, que pertenece a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí extensión en El Carmen se encuentra en las coordenadas 0°15’ S y 79°26’ O a 260 msnm de altitud.

3.2 Características agroecológicas de la zona.

Tabla 1.

Características meteorológicas presentadas en el ensayo.

Características	ULEAM
Temperatura (°C)	25°
Humedad Relativa (%)	84%
Heliofanía (Horas luz año ⁻¹)	1 026,2
Precipitación media anual (mm)	163,5 mm
Altitud (msnm)	215 msnm

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2018).

3.3 Variables en estudio

3.3.1 Variables independientes

Partes vegetativas de la planta de plátano

- T1: Raquis
- T2: Pseudotallo
- T3: Cormo

3.3.2 Variables dependientes

Calidad fisicoquímica del alcohol (pH): Se empleó la Norma Técnica NTE INEN 2478

Cantidad en Volumen de Mosto Líquido: Se emplea una probeta gradada en rangos de 0 a 250 ml

Cantidad en Kg de Mosto Sólido: Se emplea una balanza analítica en rango de 0 a 5 kg

Volumen de producción de alcohol destilado (lt): Se midió mediante un destilador de sobremesa de diseño horizontal y con un volumen máximo de 1 litro; con un sistema de limitación de caudal, se determinó mediante el uso de una probeta graduada de 250 ml.

Porcentaje de alcohol v/v: Se determinó mediante el empleo de un alcoholímetro.

Costos directos de producción: Se calcularon los costos directos para la producción de cada tratamiento.

3.4 Característica de las Unidades Experimentales

Se consideró la variedad del plátano barraganete *Musa paradisiaca* AAB con una edad establecida de 12 semanas, las partes vegetativas son raquis, pseudotallo y cormo, estos órganos fueron sometidos a una operación fermentativa controlada.

3.5 Tratamientos

Los tratamientos son los distintos órganos de la planta de plátano utilizadas para la obtención de alcohol.

Tabla 2.

Disposición de los tratamientos.

Tratamientos	Parte del plátano
1	Raquis
2	Pseudotallo
3	Cormo

3.6 Diseño experimental

Se estableció en un diseño cuadro latino (DCL) con 3 tratamientos y 3 repeticiones por cada tratamiento y blancos, los promedios obtenidos de los tratamientos planteados en la investigación fueron comparados con la prueba de media Tukey con el 5% de probabilidad.

Tabla 3.*Esquema del ADEVA*

F.V.		gL
Total	$(t * r) - 1$	8
Tratamiento	$t - 1$	2
Repetición	$r - 1$	2
Error Experimental	$(t - 1) (r - 1)$	4

3.7 Materiales e instrumentos

- Residuos vegetales del plátano *Musa paradisiaca* AAB
- Machete
- Cuchillo
- Balanza
- Melaza
- Levadura
- Biorreactor
- Potenciómetro
- Densímetro
- Refractómetro

3.8 Manejo del Ensayo

3.8.1 Selección del material vegetal

- Se realizó la recepción de la materia prima, el cual se recibió el material vegetativo de 12 semanas a la cosecha del racimo.
- Se eliminaron todos los materiales extraños que no eran parte del material vegetal del pseudotallo, raquis y cormo.

3.8.2 Preparación

- Se lavaron los órganos vegetativos de manera independiente y se dejó escurrir por 5 minutos; posterior a esto se realizó el picado dejando todos los materiales a 1 cm de tamaño, y luego se somete al licuado para romper las estructuras vegetales.

- Se procedió a pesar en valores homogéneos de los diferentes órganos vegetativos.

3.8.3 Mezcla con melaza y ácido cítrico

Se dosificó la cantidad de material vegetativa, agua, levadura, ácido cítrico y melaza, se estandarizaron los grados brix y el pH.

3.8.4 Pasteurización

- Sepa usted hizo a 70 °C por 10 minutos coma y se realizó el enfriado de 30 a 35°C para así proceder a inocular con *Saccharomyces cerevisiae*.

3.8.5 Inoculación

- Posterior a la inoculación con *Saccharomyces cerevisiae* al 1% se agrega al sustrato a temperatura 30 a 35oC y en condiciones estériles en el Biorreactor, luego se procede a la Incubación.

2.8.6 Incubación

- Se continuó con la fermentación en un periodo de 21 días a temperatura ambiente, en un recipiente de polietileno que tuvo 2 válvulas una cumplió la función de eliminar el dióxido de carbono y la segunda para el muestreo.
- Al finalizar la fermentación se obtuvo el mosto líquido y sólido, se procedió a pesar y se eliminó el mosto sólido y se reservó el mosto líquido.

3.8.6 Destilación

- El mosto líquido se lo llevó a destilación en un destilador de sobremesa horizontal con ingreso de agua para facilitar la condensación, se midió en ml el alcohol obtenido.

CAPÍTULO III

4 EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

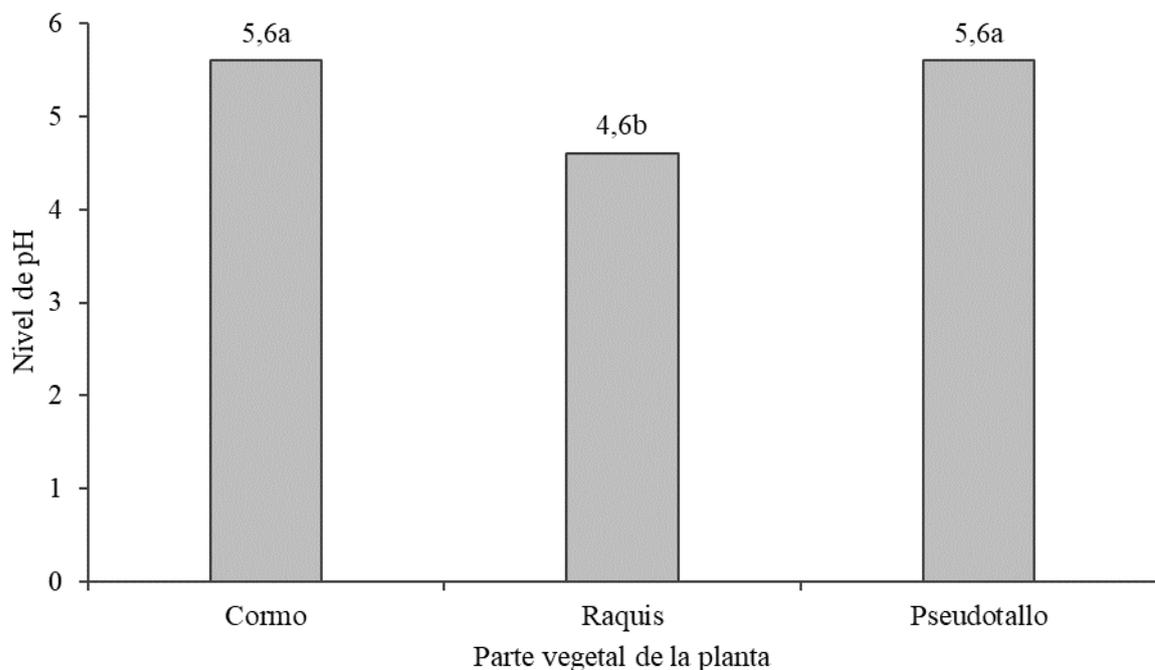
De los tratamientos aplicados en la investigación se obtuvieron los siguientes resultados:

4.1 Nivel de pH

El pH alcanzado por las mezclas para la obtención de etanol se pueden observar en la figura 1; el corno y el pseudotallo mantienen el mismo nivel de pH (5,6) mientras que el raquis presentó la cantidad más baja de este parámetro; las investigaciones para la obtención de etanol se basan en la fermentación de la fruta del plátano, los ensayos determinan que el pH final de las mezclas se mantuvieron por debajo de los 4,3 en la mayoría de los tratamientos. Se relaciona con ensayos realizados con fermentaciones a 48 y 36 horas y con 20° brix en el que el contenido superó los 4,3 de pH (Valdés *et al.*, 2002).

Figura 1.

Niveles de pH de las diferentes partes vegetativas de la planta de plátano barraganete en la obtención de etanol.



Nota. En la figura 1 se determina el pH de los tratamientos.

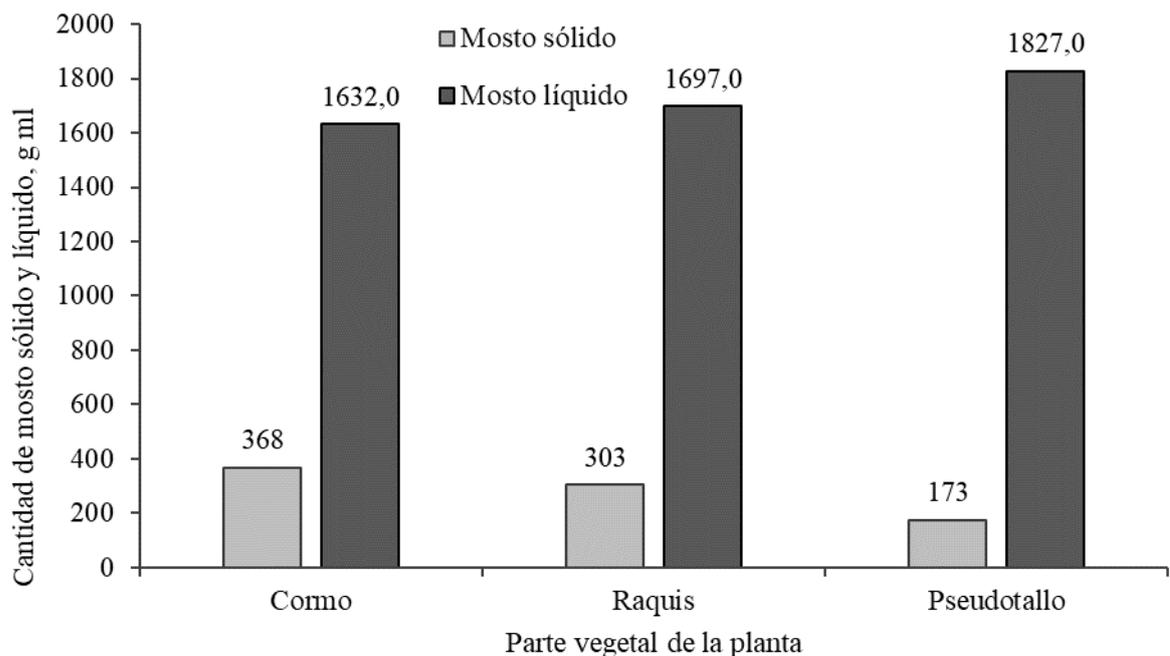
En otra investigación en la que se empleó fruta de plátano verde para la obtención de etanol, el pH inicial fue de 5,6 y después de 48 horas de fermentación cambió apenas a 5,94 sin embargo, al finalizar el experimento con la fruta del banano al pH reportado como final alcanzó apenas un valor de 4,15 en promedio (Guevara *et al.*, 2012); en el ensayo experimental de Espinosa, (2013) con raquis y cáscara de banano alcanzaron un nivel de pH de 4,5 en promedio al finalizar la fermentación en un tiempo de 72 horas.

4.2 Cantidad de Mosto Líquido y Mosto Sólido

En todos los tratamientos se consideraron 500 g de material vegetal para la obtención de etanol en las mezclas, al finalizar el experimento el corno tuvo el mayor bagazo con 368 g equivalentes al 73,6% y por último el corno con 303 g representando el 34,6% (Figura 2); en un experimento con la aplicación de azúcares reductores y fermentación de 72 horas en cáscara de plátano se alcanzaron valores más altos 7 g l⁻¹ de biomasa con las aplicaciones más elevadas de azucares, mientras que la dosis media obtuvo el rendimiento más bajo con 4 g l⁻¹ de biomasa (Monsalve *et al.*, 2006).

Figura 2.

Cantidad de mosto sólido y líquido como resultado de la obtención de alcohol de las diferentes partes vegetales.



Nota. En la figura 2 se identifica la cantidad de mosto sólido y líquido de los tratamientos.

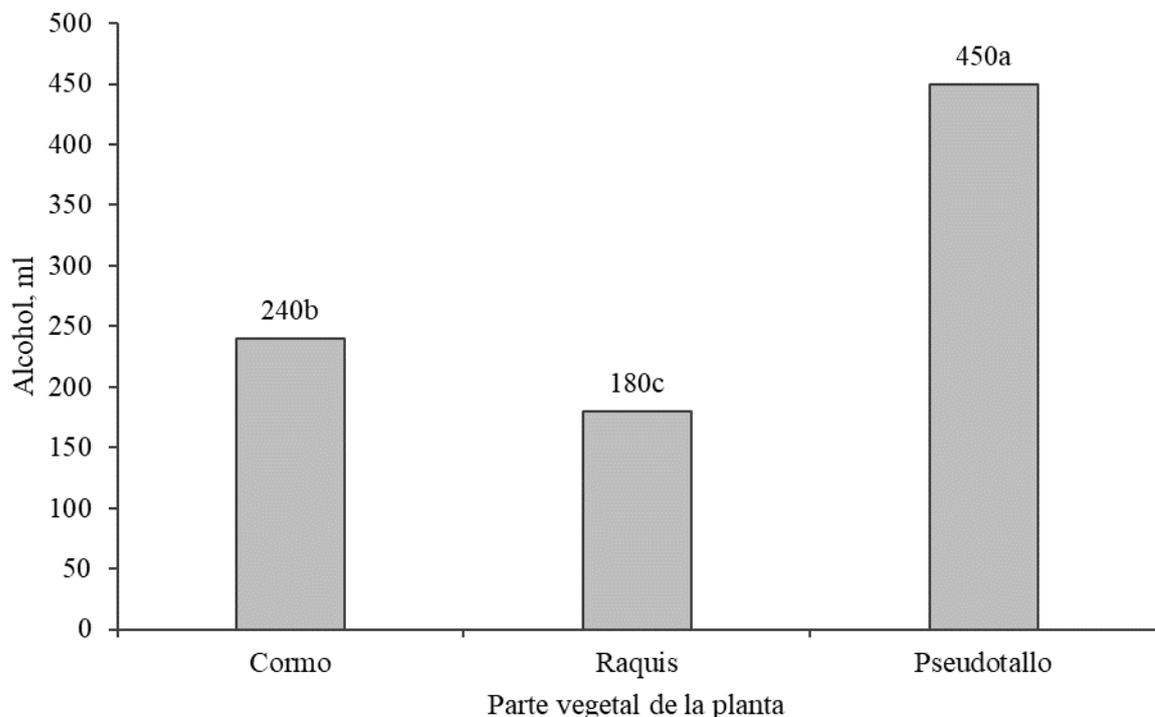
En un experimento realizado por Espinosa, (2013) en el que sometió residuos del banano como cáscara y raquis bajo hidrólisis alcalina y enzimática para obtener etanol, determinaron que el bagazo conseguido después de la hidrólisis fue 50% a 85% menor al peso inicial utilizado al inicio de la mezcla, este resultado se acerca al obtenido en esta investigación en el raquis y el pseudotallo que perdieron entre un 61% a 35% del peso inicial considerado para la obtención del etanol.

4.3 Contenido en Volumen de alcohol destilado

En esta variable el pseudotallo generó el mayor contenido de alcohol entre todas las partes vegetales del plátano (Figura 3), el raquis es el que menor producción de alcohol en milímetro reportó en el experimento; en la investigación de Monsalve *et al.*, (2006) el contenido de etanol encontrado en los tratamientos de la cáscara de banano fueron significativos con altas aplicaciones de azúcares reductores, mientras que en las dosis medias y bajas la cantidad de etanol fue muy baja.

Figura 3.

Rendimiento de alcohol en ml a partir de residuos vegetales de la planta de plátano barraganete.



Nota. En la figura 3 se determina la cantidad de alcohol de los tratamientos.

El volumen obtenido en el pseudotallo se debe a las características físicas de este, ya que suele concentrar mayor cantidad de humedad y sus componentes sólidos son menos rígidos, a diferencias del corno y del raquis, los cuales son de mayor dureza y menor humedad del cual se pueda obtener mayor cantidad de líquido para la producción de alcohol (Caicedo et al., 2020).

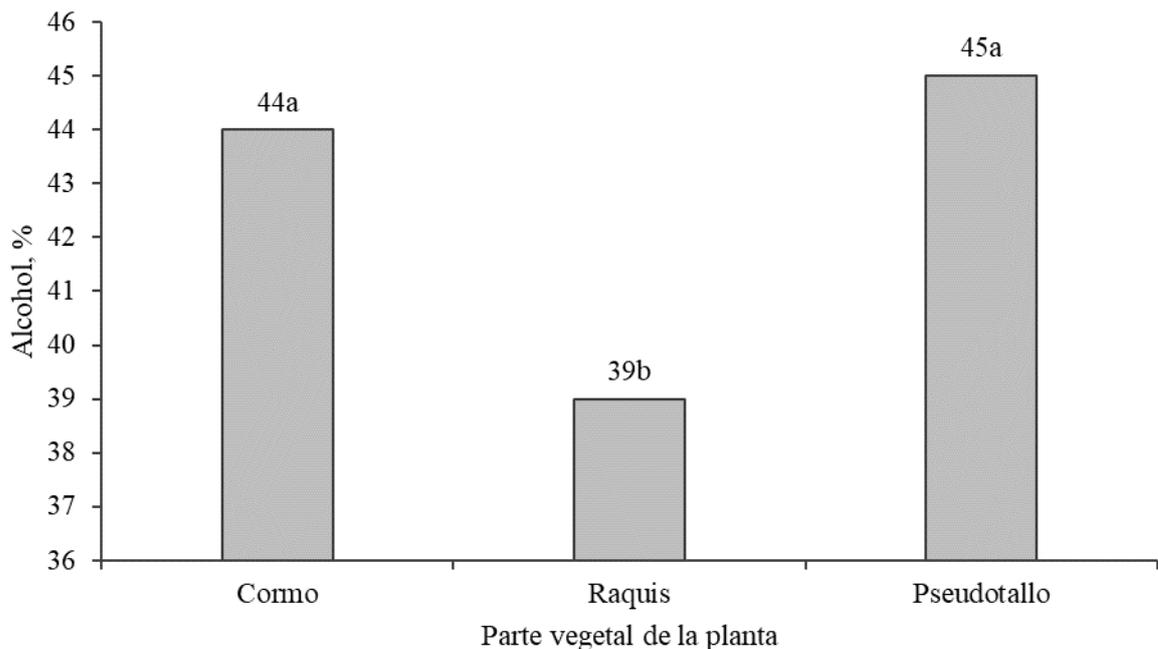
4.4 Porcentaje de v/v de alcohol

En lo relacionado al porcentaje de alcohol obtenido en las mezclas con las diferentes partes del plátano el corno y pseudotallo presentaron los porcentajes más elevados, mientras que el raquis tuvo el menor valor en esta variable (Figura 4); en la investigación de (Guevara *et al.*, 2012) el porcentaje de alcohol obtenido con la fruta verde de banano después de 48 horas de fermentación fue de 5,5% en condiciones de hidrólisis endoenzimática.

En el trabajo de (Espinosa, 2013) con la cáscara y raquis de banano el rendimiento de alcohol en porcentaje se encontró en rangos de entre 39,36% en el mejor de los casos, y de apenas 26,71% en el caso más bajo, el promedio de todas las muestras evaluadas dieron como resultado 33,02%.

Figura 4.

Porcentaje de alcohol en las mezclas a partir de residuos vegetales de la planta de plátano barraganete.



Nota. En la figura 4 se determina el porcentaje de alcohol de los tratamientos.

4.5 Costos Directos de Producción

Tabla 4.

Costos directos de producción de alcohol de pseudotallo al 45% de v/v.

No	Descripción	Cantidad	Unidad de Medida	Valor Unitario	Valor Total
1	Pseudotallo	500	g	0,00	0,00
2	Melaza	1	L	0,50	0,50
3	Ácido cítrico	200	ml	0,50	0,50
4	Levadura	15	g	0,20	0,20
5	Agua	500	ml	0,0002	0,10
CPT					1,30
ml					450
Costos /ml					\$ 0,0029
Costo / Litro de Alcohol					\$ 2,88

Según los resultados obtenidos, el mejor ensayo es el Pseudotallo con un costo de producción directo por litro de 2,88\$ al 45% v/v de alcohol, varias investigaciones revelan costos promedios entre 3 a 1\$ por litro de alcoholes industriales, en la investigación en la que se realizó una evolución económica del proceso de obtención de alcohol carburante a partir de la caña de azúcar y maíz generando una eficiencia de maíz 0,147 \$/Kg y caña de azúcar 0,016 \$/Kg (Montoya R & Quineteros S, 2005), según la investigación Biocombustibles líquidos para transporte en américa latina y el caribe asegura que el alcohol destilado obtenido a base de residuos de la caña de azúcar varía entre 0,33 a 0,85 \$/L (CEPAL, 2022).

CONCLUSIONES

1. Se determinó que es factible obtener alcohol de diferentes órganos vegetativos del plátano (*Musa paradisiaca*).
2. Se obtuvo 450 ml de alcohol destilado del tratamiento T2 correspondiente al pseudotallo, con un porcentaje de alcohol del 45% v/v de alcohol, mientras que el raquis y el corno apenas alcanzaron 39 y 44 % respectivamente.
3. Los resultados del alcohol a partir del pseudotallo en cuanto a los requisitos de la normativa NTE INEN 2478 están dentro de los parámetros.
4. El costo de producción del litro de alcohol a base de pseudotallo es de 2,88\$ siendo más baratos que otros partes como en la cáscara de banano que supera los \$4,00 el litro.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda utilizar cáscara de plátano y otros desperdicios de la planta para la obtención de etanol incluida el pseudotallo como mecanismos más eficientes.
2. Usar los equipos y maquinarias eficientes para obtener la mayor formación de alcohol después de la fermentación.
3. Se recomienda implementar otros productos como para la fermentación y analizar los resultados obtenidos.

BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, L. A., & Bello, L. A. (2018). Materias primas usadas para la producción de etanol de cuatro generaciones: Retos y oportunidades. *Agrociencia*, 52(7), 967–990.
- Araneda, I. D. R., Correa, C. J., & Irazabal, F. (2019). *Obtención de bioetanol a partir del banano orgánico (Musa x paradisiaca) no exportable* [Universidad Nacional de Piura]. <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/1954>
- Arango, A., Barbutin, H., & Parra, J. (2018). Productos de valor agregado a partir de residuos de cosecha y post-cosecha del plátano para el desarrollo territorial del Municipio de San Juan de Urabá. *XVIII Congreso Latino-Iberoamericano de Gestión Tecnológica*, 3(1), 1–21.
- BCE. (2021). *Información estadística mensual*. Banco Central del Ecuador. <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/PublicacionesNotas/Catalogo/IEMensual/Indices/m2038122021.htm>
- Caicedo, W., Viáfara, D., Pérez, M., Alves Ferreira, F. N., Rubio, G., Yanza, R., Caicedo, M., Caicedo, L., Valle, S., & Motta, W. (2020). Características químicas del ensilado de raquis de plátano (*Musa paradisiaca*) y banano orito (*Musa acuminata* AA) tratado con suero de leche y urea. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 31(4). <https://doi.org/10.15381/rivep.v31i4.19035>
- Calvache, A., Avellán, L., & Cobeña, N. (2014, agosto 14). *Extracción de Micronutrientes según la Fenología del Plátano Barraganete (Musa paradisiaca L.)*.
- Cayón, G., Ligarreto, G., & Martínez, C. (2016). Composición química y distribución de materia seca del fruto en genotipos de plátano y banano. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 17(2), 217–227.
- Cedeño, G., Guzmán, Á., Zambrano, H., Vera, L., Valdivieso, C., & López, G. (2020). Efecto de la densidad de siembra y riego complementario en la morfo-fenología, rendimiento,

- rentabilidad y eficiencia de la fertilización del plátano. *Scientia Agropecuaria*, 11(4), 483–492. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.04.03>
- Díaz, J., & Herrera, F. (2017). *Producción de etanol combustible a partir de lignocelulosas* [Grado, Universidad del Cauca]. <https://silo.tips/download/produccion-de-etanol-combustible-a-partir-de-lignocelulosas>
- EPPetroecuador. (2017). *EP Petroecuador inicia despacho de gasolina Ecopáis en Esmeraldas*. Petroecuador. <https://www.eppetroecuador.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/02/Bol-008-2017-despacho-de-gasolina-Ecopais-en-Esmeraldas.pdf>
- Espinosa, F. J. (2013). *Obtención de etanol mediante hidrólisis alcalina, enzimática y fermentación a partir del excedente orgánico del banano variedad Musa Paradisiaca* [Grado, Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/1821>
- Fernando, S. E. L., Alina, J. U., Arenas, E. G., & Sebastian, P. J. (2018). Evaluación de la producción de bioetanol a partir de desechos agroindustriales de plátano (*Musa paradisiaca* L.). *Academia Journals Chetumal*, 2277–2287.
- Galan, V., Rangel, A., Lopez, J., Hernandez, J. B. P., Sandoval, J., & Rocha, H. S. (2018). Propagación del banano: Técnicas tradicionales, nuevas tecnologías e innovaciones. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 40(4). <https://doi.org/10.1590/0100-29452018574>
- Guevara, C. A., Arenas, H. A., Mejía, A., & Peláez, C. A. (2012). Obtención de Etanol y Biogás a Partir de Banano de Rechazo. *Información tecnológica*, 23(2), 19–30. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642012000200004>
- Haro, A. J., Borja, A. E., & Triviño, S. Y. (2017). Análisis sobre el aprovechamiento de los residuos del plátano, como materia prima para la producción de materiales plásticos biodegradables. *Dominio de las Ciencias*, 3(2), 506–525.

- Hernández, C., Díaz, A. I., Laca, A., Laca, A., & Díaz, M. (2017). Obtención de bioetanol a partir de hidrolizados de residuos de fruta. *II Congreso Nacional de Jóvenes Investigadores en Ciencia, Ingeniería y Tecnología de los Alimentos, 2017*, 2.
- IICA. (2018). *Manual 5: El mercado y la comercialización* (Primera). <https://repositorio.iica.int/handle/11324/7088>
- INEC. (2022). *Estadísticas Agropecuarias* (Estadístico Núm. 2021). Instituto Nacional de Estadística y Censos. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>
- InfoAgro. (2018). *El cultivo del plátano (banano)*. Infoagro.com. https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_platano__banano_.asp
- Jimenez, M. J., & Castillo, A. (2021). Biomasa microalgal con alto potencial para la producción de biocombustibles. *Scientia Agropecuaria*, 12(2), 265–282. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.030>
- MAGAP. (2018). *Boletín Situacional—Banano 2018*. Ministerio de Agricultura Ganadería Acuacultura y Pesca. <https://online.fliphtml5.com/ijia/cnwq/#p=1>
- Mazzeo, M., León, L., Mejía, L. F., Guerrero, L. E., & Botero, J. D. (2015). Aprovechamiento industrial de residuos de cosecha y poscosecha del plátano en el Departamento de Caldas. *Revista Educación en Ingeniería*, 5(9), 128–139. <https://doi.org/10.26507/rei.v5n9.14>
- Mejía, G. (2018). *Guía Técnica Cultivo de Plátano*. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. <https://www.centa.gob.sv/download/guia-tecnica-cultivo-de-platano/>
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2014). *El Banano Peruano, Producto Estrella de Exportación, Tendencias de la Producción, el Comercio del Banano en el Mercado Internacional y Nacional*. MINAGRI. <http://repositorio.midagri.gob.pe:80/jspui/handle/20.500.13036/70>

- Ministerio del Ambiente y Agua. (2021). *Ecuador fortalece la economía circular en Municipios y comunidades del país – Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica* [Gubernamental]. Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. <https://www.ambiente.gob.ec/ecuador-fortalece-la-economia-circular-en-municipios-y-comunidades-del-pais/>
- Monsalve, J., Medina, V., & Ruiz, A. (2006). Producción de etanol a partir de la cáscara de banano y de almidón de yuca. *Dyna*, 73(150), 21–27.
- Montoya, D. (2002). *Las fermentaciones como soporte de los procesos biotecnológicos* (Primera). Universidad Nacional de Colombia.
- Murgueitio, E., Campo, M., Nirchio, M., Cuesta, O., & Tocto, J. (2019). Composición química y actividad biológica del pseudotallo de *Musa x paradisiaca* L (BANANO). *Revista Ciencia Unemi*, 12(31), 19–29.
- Núñez, C. (2018). *Guía de Laboratorio Química Orgánica 210018 ICQ*. Facultad de Ciencias. <https://www.studocu.com/cl/document/universidad-catolica-del-norte/quimica/guia-de-laboratorio-quimica-organica-2018/25210138>
- Oliva, M. (2015). *Posible proceso productivo de etanol con residuos de banano y sus impactos en el Valle del Chira* [Esis de pregrado no publicado, Universidad de Piura]. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/2045>
- Pedraza, C. G. (2019). *Caracterización de la fibra del pseudo tallo de plátano como refuerzo y desarrollo de un material compuesto para fabricación de tejas* [Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia]. <http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/2768>
- Peñaranda, L. V., Montenegro, S. P., & Giraldo, P. A. (2017). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en Colombia. *RIAA*, 8(2), 141–150.
- Silva, J. (2018, diciembre 10). *La fruta más producida y consumida del mundo...* [Informativa]. Agrotendencia.tv. <https://agrotendencia.tv/agropedia/el-cultivo-de-banano/>

- Tenesaca, S. I., Quevedo, J., & García, R. (2019). Determinación de la dosis óptima de biocarbón como enmienda edáfica en el cultivo de banano (*musa x paradisiaca*) clon williams. *Revista Científica Agroecosistemas*, 7(3), 134–141.
- Tortora, G. J., Funke, B. R., & Case, C. L. (2018). *Microbiology: An introduction*. Pearson. <https://lib.hpu.edu.vn/handle/123456789/33526>
- Valdés, B. E., Castaño, J. J., & Arias, M. (2002). Obtención de etanol y una bebida alcohólica tipo aperitivo por fermentación de plátano maduro. *Cenicafé*, 53(3), 239–251.
- Vargas, A., Watler, W., Morales, M., & Vignola, R. (2017). *Prácticas-reduccion-impactos-por-eventos-climatologicos*. CATIE. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/Practicas-reduccion-impactos-por-eventos-climatologicos.html>
- Vázquez, H. J., & Dacosta, O. (2007). Fermentación alcohólica: Una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos agrícolas. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 8(4), 249–259.
- Zola, M. A., & Barranzuela, M. E. (2018). *Estudio experimental de la obtención de bioetanol a partir de cáscara de plátano en Piura, Perú* [Grado, Universidad de Piura]. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/3305>

ANEXOS

Anexo 1. Preparado del material vegetal a utilizar.



Anexo 2. Pesado del material vegetal a utilizar.**Anexo 3.** Pesado del material para hidrólisis.

Anexo 4. Preparado de las mezclas.



Anexo 5. Establecimiento de los tratamientos.



Anexo 6. Análisis de la varianza para el pH.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Repetición	0,06	2	0,03	1	0,4444 ns
Tratamiento	2	2	1	33,33	0,0032 **
Error	0,12	4	0,03		
Total	2,18	8			
CV:	3,29%				

Anexo 7. Análisis de la varianza para el contenido de bagazo

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Repetición	2480,67	2	1240,33	232,56	0,0001 **
Tratamiento	59150	2	29575	5545,31	<0,0001 **
Error	21,33	4	5,33		
Total	61652	8			
CV:	0,82%				

Anexo 8. Análisis de la varianza para el contenido de alcohol.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Repetición	7072,67	2	3536,33	85,56	0,0005 **
Tratamiento	120600	2	60300	1458,87	<0,0001 **
Error	165,33	4	41,33		
Total	127838	8			
CV:	2,22%				

Anexo 9. Análisis de la varianza para el porcentaje de alcohol v/v.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Repetición	384	2	192	192	0,0001 **
Tratamiento	62	2	31	31	0,0037 **
Error	4	4	1		
Total	450	8			
CV:	2,34%				