

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano**  
**Departamento de Ambiente y Desarrollo**  
**Ingeniería en Ambiente y Desarrollo**



**Proyecto Especial de Graduación**  
**Evaluación de alternativas de valorización del material lignocelulósico**  
**del rastrojo de piña en la cadena agrícola de la empresa Dole Food**  
**Company Inc., Honduras**

**Estudiante**

**Kimberly Raquel Aragón Miguel**

**Asesores**

**Victoria Alejandra Cortés Matamoros, Dra.**

**Josué Anibal León Carvajal, Mtr.**

**Honduras, agosto 2024**

**Autoridades**

**SERGIO ANDRÉS RODRÍGUEZ ROYO**

Rector

**ANA M. MAIER ACOSTA**

Vicepresidenta y Decana Académica

**VICTORIA CORTÉS MATAMOROS**

Directora Departamento de Ambiente y Desarrollo

**HUGO ZAVALA MEMBREÑO**

Secretario General

### **Agradecimientos**

El Proyecto Especial de Graduación presente se llevó a cabo con el apoyo de la empresa Dole Food Company Inc., quien proporcionó apoyo técnico y financiero mediante la empresa subsidiaria AGROPOR.

## Contenido

Agradecimientos .....	3
Índice de Cuadros .....	6
Índice de Figuras .....	7
Índice de Anexos .....	8
Resumen .....	9
Abstract .....	10
Introducción .....	11
Metodología .....	14
Ubicación del Estudio .....	14
Cuantificación del Rastrojo de Piña y Disponibilidad Anual del Residuo .....	15
Análisis del Rendimiento de la Fracción Lignocelulósica del Rastrojo de Piña y Propiedades Físicoquímicas del Rastrojo .....	18
Evaluación de los Parámetros Físicoquímicos del Rastrojo de Piña .....	18
Rendimiento de la Fracción Lignocelulósica .....	20
Análisis de la Viabilidad Técnica para la Implementación de la Propuesta de Valorización .....	22
Propuesta de Productos como Alternativas de Valorización del Rastrojo de Piña .....	23
Análisis de Recursos para la Extracción de la Fibra con Potencial para la Elaboración de Productos ..	23
Resultados y Discusión .....	24
Estimación de Indicadores de Generación de Residuos .....	24
Estimación de la Cantidad Disponible de Rastrojo .....	27
Características Físicoquímicas del Rastrojo .....	28
Rendimiento del Material Lignocelulósico .....	32
Análisis de Viabilidad Técnica para la Implementación de la Propuesta de Valorización .....	34

Propuesta de Productos como Alternativas del Rastrojo de Piña .....	34
Análisis de Recursos para la Extracción de la Fibra con Potencial para la Elaboración de Productos..	36
Conclusiones .....	40
Recomendaciones .....	41
Referencias.....	42
Anexos.....	47

## Índice de Cuadros

Cuadro 1 Parámetros fisicoquímicos en las hojas de piña.....	19
Cuadro 2 Promedio de pesos y coeficiente de variación por parcela muestreada, y promedios globales de la media y desviación estándar.....	24
Cuadro 3 Análisis de varianza para los pesos promedios de las variables recolectadas en las plantas muestreadas.....	27
Cuadro 4 Generación de residuos totales y aprovechables anuales, mensuales y diarios .....	28
Cuadro 5 Caracterización fisicoquímica del rastrojo de piña .....	29
Cuadro 6 Revisión de literatura sobre el contenido de la fracción lignocelulósica en el rastrojo de piña .....	30
Cuadro 7 Comparación de propiedades fisicoquímicas de materias primas potenciales para aprovechar la fibra .....	31
Cuadro 8 Comparación de propiedades físicas de la fibra de diferentes materias primas .....	32
Cuadro 9 Medidas de variabilidad de los datos sobre la extracción de material fibroso en las parcelas analizadas.....	32
Cuadro 10 Producción de fibra seca .....	34
Cuadro 11 Matriz de propuestas de valorización de la fracción lignocelulósica del rastrojo de piña..	35
Cuadro 12 Costo de la producción total y costo de la prueba piloto .....	38
Cuadro 13 Comparación de ingresos y emisiones de CO <sub>2</sub> eq evitadas entre la producción total y prueba piloto.....	39
Cuadro 14 Evaluación de viabilidad de los recursos necesarios para la extracción de fibra del rastrojo de piña .....	39

### Índice de Figuras

Figura 1 Ubicación de las fincas de piña de Dole Food Company Inc. ....	14
Figura 2 Ubicación de los lotes muestreados en AGROPOR .....	16
Figura 3 Composición porcentual de las partes de la planta de piña .....	26

## Índice de Anexos

Anexo A Instrumento de entrevista semiestructura sobre la preevaluación del entorno para determinar la viabilidad del aprovechamiento del rastrojo de piña para la elaboración de productos en la empresa AGROPOR, subsidiaria a la compañía Dole Food Company Inc. ....	47
Anexo B Formato para la recopilación de datos en campo .....	48
Anexo C Diseño del establecimiento de parcelas y cuantificación de rastrojo de piña en campo.....	49
Anexo D Prueba de Shapiro-Wilks y gráfico Q-Q plot para analizar la normalidad de los pesos del rastrojo de piña en campo .....	50
Anexo E Medidas de tendencia central y variabilidad en los datos de la parcela uno .....	51
Anexo F Medidas de tendencia central y variabilidad en los datos de la parcela dos .....	52
Anexo G Medidas de tendencia central y variabilidad en los datos de la parcela tres .....	53
Anexo H Medidas de tendencia central y variabilidad en los datos de la parcela cuatro .....	54
Anexo I Esquema del proceso de extracción manual y fisicoquímica de la fibra .....	55
Anexo J Ecuación para la estimación de consumo energético .....	56
Anexo K Ecuaciones para la cuantificación de kilogramos de CO <sub>2eq</sub> .....	57

## Resumen

La piña (*Ananas comosus*) es un cultivo de gran relevancia económica en Honduras. Sin embargo, su producción genera una considerable cantidad de residuos agrícolas, destacando el rastrojo como uno de los principales problemas debido a su lenta descomposición. La valorización de residuos representa una estrategia que ayuda a mitigar los impactos negativos derivados de la gestión de residuos, proporcionando alternativas para su aprovechamiento. El rastrojo de piña está compuesto principalmente por celulosa, lo que permite su uso en diversos sectores para la elaboración de productos. En este contexto, el objetivo de este estudio es evaluar alternativas de valorización del material lignocelulósico del rastrojo de piña para la reducción de impactos derivados del manejo en la cadena agrícola de la empresa Dole Food Company Inc., Honduras. Se determinaron indicadores de generación de residuos aprovechables, se evaluaron las características fisicoquímicas del rastrojo y se analizó la viabilidad técnica de la extracción del material lignocelulósico para la elaboración de productos. Como resultado se estimó una generación de 162 t/ha de residuos aprovechables y 3.23 t/ha de fibra seca. Las características fisicoquímicas del rastrojo de piña denotan su aplicabilidad para el desarrollo de empaques, papel y textiles, principalmente por el contenido de fibras. La viabilidad de aprovechar la totalidad del residuo es baja, principalmente por los mecanismos de recolección manual, pero la implementación a escala piloto representa una oportunidad de valorización, con potencial de escalamiento futuro.

*Palabras clave:* Economía circular, fibra vegetal, residuos agrícolas

### **Abstract**

Pineapple (*Ananas comosus*) is a crop of great economic importance in Honduras. However, its production generates a considerable amount of agricultural residues, with stubble being one of the main problems due to its slow decomposition. Waste recovery is a strategy that helps mitigate the negative impacts of waste management by providing alternatives for its use. Pineapple stubble is mainly composed of cellulose, which allows its use in various sectors for the production of products. In this context, the objective of this study is to evaluate alternatives for the valorization of lignocellulosic material from pineapple stubble in order to reduce the impacts derived from its management in the agricultural chain of the Dole Food Company Inc. in Honduras. Indicators of the generation of usable waste were determined, the physicochemical characteristics of the stubble were evaluated, and the technical feasibility of extracting the lignocellulosic material for the production of products was analyzed. As a result, it was estimated that 162 t/ha of usable residues and 3.23 t/ha of dry fiber would be generated. The physicochemical characteristics of pineapple stubble indicate its applicability for the development of packaging, paper and textiles, mainly due to its fiber content. The feasibility of using all the residue is low, mainly due to the manual collection mechanisms, but on a pilot scale it represents an opportunity for valorization with potential for future scaling up.

*Keywords:* Circular economy, crop residues, plant fiber

## Introducción

En la actualidad la piña (*Ananas comosus*) tiene un papel fundamental en la economía global, debido a que representa una fuente de empleo directa e indirecta y se ha estimado que las exportaciones aumentan 3.2% al año (Ariano Reyes, 2021). En el año 2021 abarcó una extensión superior a 400,000 ha a nivel mundial. Además, esta fruta ha presentado un volumen comercial a nivel global de USD 2,500 millones en ventas (Li et al., 2022). Por lo tanto, esta es considerada como la tercera fruta tropical más relevante en las regiones tropicales y subtropicales del mundo, como en Costa Rica, Brasil, Colombia y Filipinas.

La piña pertenece a la familia *Bromeliaceae*, la cual se ha distinguido por su creciente diseminación en diferentes partes del mundo, al presentar una alta adaptabilidad frente a diversas condiciones edafoclimáticas. Este fruto ha presentado la tendencia de aumentar su demanda, por lo que esto estimula la oferta (Aguilera Arango et al., 2022). Tiene un patrón de crecimiento terrestre, herbácea y perenne, que posterior a la fructificación vuelve a crecer por medio de yemas auxiliares que dan origen a una nueva planta (Rodríguez Alfonso et al., 2019).

Por otra parte, la producción de piña es una de las principales fuentes de frutas tropicales, con alto consumo de energía y generadora de residuos, contribuyendo así a las emisiones de gases de efecto invernadero. Esto se debe a que las industrias generalmente aprovechan la parte comestible de las plantas y el resto se considera un residuo agrícola. Los residuos agrícolas, son materiales orgánicos que se generan después de la cosecha de un determinado cultivo (Gómez Soto et al., 2019). Se estima que los residuos agrícolas representan entre un 39% del total de los residuos orgánicos (Ravindran et al., 2018). Por consiguiente, al no darles un manejo adecuado a los residuos de la producción de piña, han originado un desafío ambiental, dado que, al no aprovecharse generan un deterioro progresivo en el medio ambiente (Dey et al., 2021).

El rastrojo es uno de los principales subproductos que presentan un lento proceso de degradación, debido a que su composición química y estructural está compuesta principalmente por

compuestos fibrosos y lignificados, como la celulosa y lignina. Estos son difíciles de descomponer por sus enlaces glucosídicos y fenólicos (Gómez Soto et al., 2019). Generalmente, el manejo aplicado al rastrojo de piña se realiza en el campo de producción, ya que, la metodología común para el tratamiento en seco es la utilización de herbicidas en conjunto a la quema, provocando la liberación de sustancias volátiles y tóxicas, las cuales contaminan el aire, agua y suelos de la zona (Jaikel Víquez y Ulate Brenes, 2021).

Por otro lado, se encontró que, en Honduras, el manejo que se le da al rastrojo de piña es la quema, que ha generado la degradación del suelo y el incremento en la emisión de gases de efecto invernadero (Fallas Rojas, 2019). Sin embargo, se han implementado cambios en este tipo de prácticas, promoviendo la incorporación del rastrojo en el suelo mediante la utilización de maquinaria. Esto aumenta significativamente los costos de operación en campo y se ha identificado que la descomposición del rastrojo al aire libre tiene como efecto la proliferación de moscas, esto incide en la salud pública de las zonas productoras (Vargas Vargas et al., 2019). Por ello, es importante el estudio de métodos alternos que, en adición a mitigar la contaminación generada, retornen valor agregado al proceso de producción.

La gestión de los residuos contribuye en la disminución de los impactos negativos en el ambiente, incrementa el uso eficiente de los recursos y optimiza el bienestar de las partes interesadas, con esto se promueve la sostenibilidad dentro del proceso productivo (Pérez Pérez et al., 2023). La valorización es un estudio donde al residuo se le aplica un proceso químico, térmico o biológico para ser transformado en un material que pueda ser utilizado para cumplir determinadas funciones y sustituir a otros materiales (Vargas Corredor y Pérez Pérez, 2018). Los residuos agrícolas tienen un alto potencial para transformación debido a su contenido de material lignocelulósico, que sirve para la elaboración de briquetas, papel y biocombustibles (Gómez Soto et al., 2019).

El rastrojo de piña se obtiene posterior a la cosecha de la fruta y se compone por el tallo y hojas donde la celulosa es el componente que se encuentra en mayor proporción. Este material tiene

diferentes aplicaciones farmacéuticas, la elaboración de textiles, papel y pulpa. Este material fibroso comúnmente conocido como *Pineapple Leaf Fiber* (PALF), también es el componente de la celulosa nanofibrilar, utilizado en la construcción de pantallas táctiles, paneles solares, nanogeneradores eléctricos, productos medicinales y empaques antimicrobianos para inhibir la actividad contra *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* (Araya Chavarría, 2021).

A nivel internacional existen investigaciones en laboratorios de universidades en Costa Rica que evalúan el reforzamiento de polímeros plásticos sintéticos con fibras. A nivel comercial, la empresa Ananas Anam se especializa en la producción de indumentaria a partir de fibra de piña (Piñatex®) como alternativa al cuero (Durán y Piñar, 2019). No obstante, en Honduras no se le brinda un proceso de valorización a las fibras del rastrojo de piña.

Considerando la problemática planteada y la carencia de información asociada con el manejo de residuos para este cultivo en Honduras, el propósito de esta investigación es evaluar alternativas de valorización del material lignocelulósico del rastrojo de piña para la reducción de impactos derivados del manejo en la cadena agrícola de la empresa Dole Food Company Inc., Honduras. Los objetivos específicos son los siguientes: 1) Estimar la cantidad disponible de rastrojo de piña considerando un ciclo anual, 2) Analizar el rendimiento de fracción lignocelulósica del rastrojo de piña y propiedades fisicoquímicas del rastrojo, para su aplicación como materia prima con potencial en la elaboración de productos, 3) Analizar la viabilidad técnica para la extracción de la materia prima con potencial para la elaboración de productos considerando la disponibilidad y características fisicoquímicas de la biomasa disponible.

## Metodología

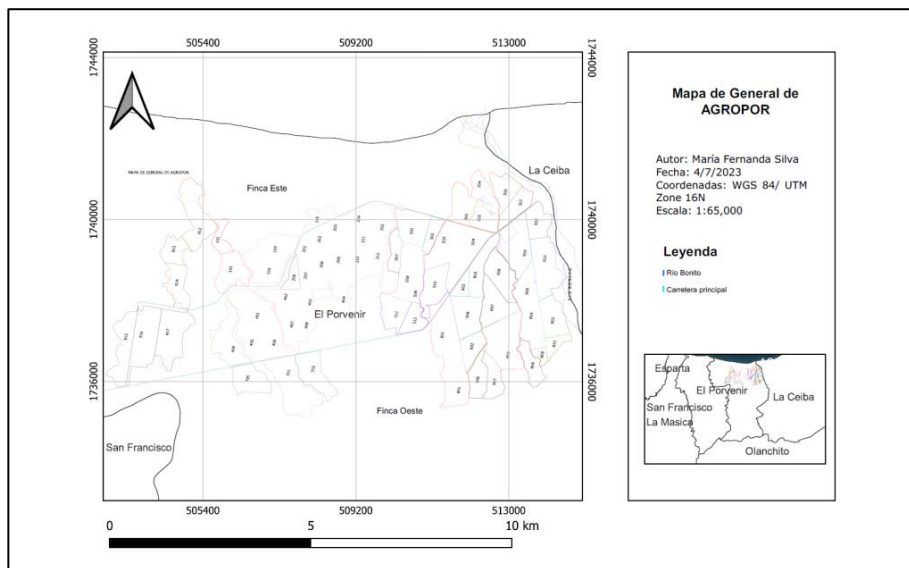
La investigación fue tipo mixto con un enfoque descriptivo y exploratorio para exponer la problemática relacionada con el manejo del rastrojo de piña, al identificar las posibles alternativas y proporcionar una base sólida al plantear la viabilidad técnica para la obtención de materia prima con potencial para la elaboración de empaques.

### Ubicación del Estudio

El estudio se realizó en la empresa AGROPOR, ubicada en Atlántida, Honduras, la cual pertenece a Dole Food Company Inc. Esta empresa trasnacional se enfoca en la producción agrícola de manera responsable de frutas y vegetales ubicada aproximadamente a 26 msnm, con una temperatura oscilante entre 20.7-29 °C y precipitación promedio anual de 3,230.2 mm (Silva Garcés, 2023). Cabe mencionar, que AGROPOR se divide en dos fincas: Este y Oeste, entre las cuales tienen un total de 3,400 ha de cultivo de piña (*Ananas comosus*). Estas se subdividen en fincas, las cuales se fragmentan en incrementos que se fraccionan en lotes de producción (Figura 1).

### Figura 1

*Ubicación de las fincas de piña de Dole Food Company Inc.*



*Nota.* Tomado de Silva Garcés (2023).

Para el desarrollo de esta investigación se estimó la producción de residuo generado a lo largo de un año, para ello, se realizó en campo un muestreo por conveniencia y una entrevista semiestructurada. Luego, se realizó la caracterización fisicoquímica de la hoja y la transformación del material lignocelulósico en el laboratorio del departamento de Ambiente y Desarrollo de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, ubicada en Francisco Morazán, Honduras.

### **Cuantificación del Rastrojo de Piña y Disponibilidad Anual del Residuo**

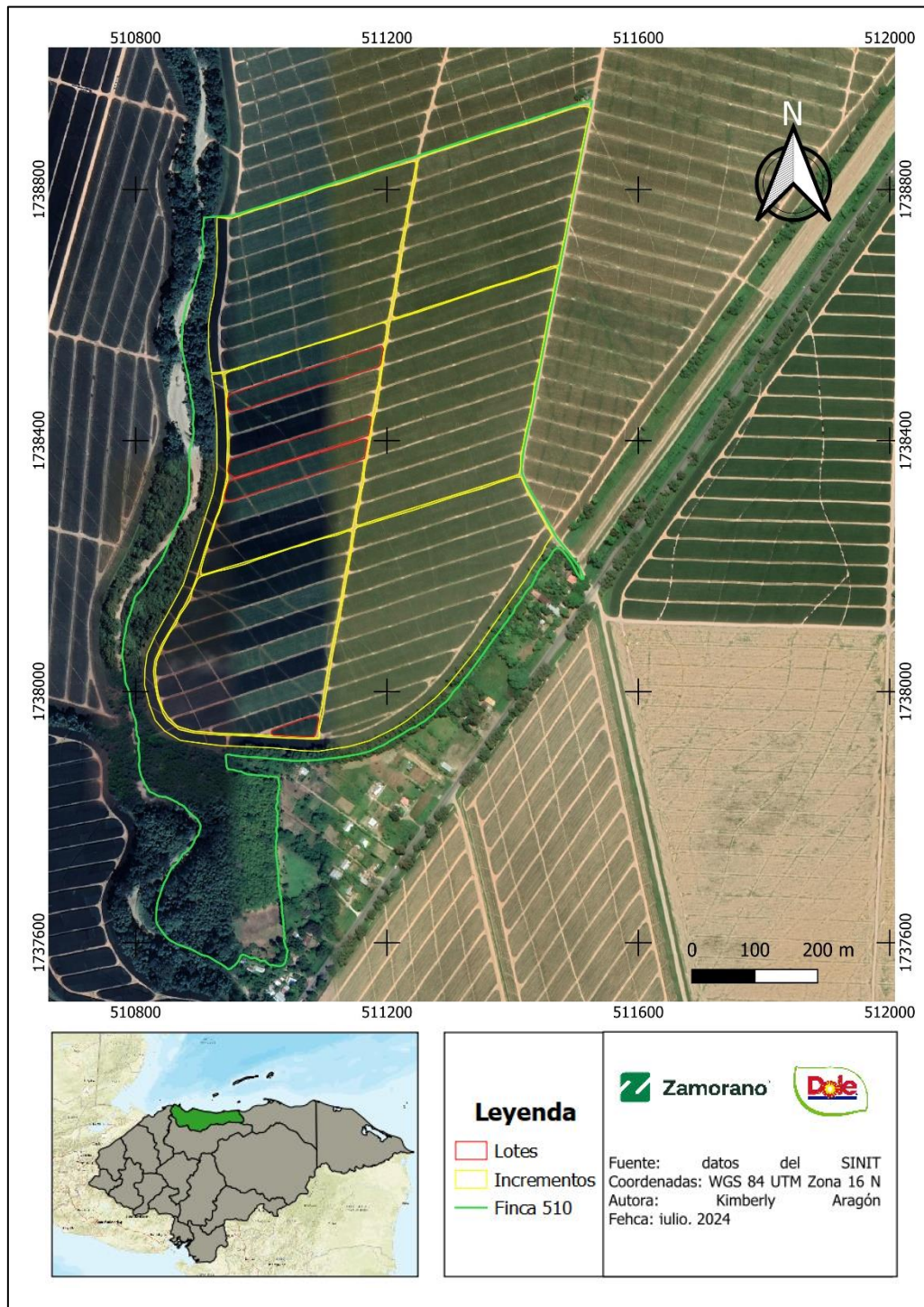
Para la cuantificación de los residuos de la producción de piña, se realizó la recopilación de información sobre el manejo del cultivo, mediante una entrevista semiestructurada conformada por 14 preguntas abiertas (Anexo A). Esta se caracteriza por permitir recopilar información de manera oral subjetiva desde diferentes puntos de vista, con ello tener un panorama amplio sobre los pensamientos cognitivos de las personas sobre determinado tema (Ibarra Sáiz et al., 2023).

Se entrevistaron a cinco empleados de la empresa: uno enfocado en el manejo del cultivo en campo, tres especialistas en certificaciones, uno dedicado a la investigación y otro responsable de la calidad del producto. El propósito de las entrevistas fue obtener información sobre el ciclo de uso de las parcelas, densidad de cultivo, manejo de los residuos, productividad, proceso de empaque, enfoque sostenible y perspectivas sobre la valorización de los residuos por parte de la empresa.

Asimismo, para la cuantificación de la cantidad de rastrojo en campo, se llevó a cabo un muestreo por conveniencia y sistemático. Fue de conveniencia, dado que la empresa maneja lotes productivos, por lo cual, se seleccionaron cuatro lotes que hayan sido cosechados recientemente para poder cuantificar la cantidad de residuo generado (Figura 2). La recopilación de datos fue sistemática, debido a que la empresa cultiva la misma especie y se les brinda el mismo manejo a todos los lotes productivos, por lo que se pudo obtener datos representativos de manera homogénea. En cada lote se estableció una parcela de 225 m<sup>2</sup>, dando como resultado cuatro parcelas en total (P1, P2, P3 y P4). Se muestrearon tres plantas en diagonal por cada parcela considerando el efecto de borde, con esto se obtuvieron 12 plantas muestreadas en total.

Figura 2

Ubicación de los lotes muestreados en AGROPOR



Las muestras se diseccionaron y las hojas fueron clasificadas en los siguientes rangos de longitud utilizando una cinta métrica: pequeñas (< 50 cm), medianas (50 - 80 cm) y grandes (> 80 cm).

Posteriormente se usó una balanza colgante para registrar el peso inicial de las hojas obtenidas por planta de acuerdo con la clasificación (Vargas Vargas et al., 2019) (Anexos B y C). Se construyeron gráficos para el análisis de la proporción de hojas por tamaño, y la cantidad de biomasa disponible por planta.

Los datos obtenidos de las cuatro parcelas muestreadas fueron tabulados en el programa *Excel*® y se sometieron a un análisis de medidas de tendencia central y variabilidad empleando el programa *Infostat*® (Versión 2020), para verificar que los datos tuvieran un comportamiento normal (Anexos D, E, F, G y H). Por otro lado, para determinar si existe heterogeneidad entre las parcelas se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) con un nivel de significancia de  $p > 0.05$ , al considerar como hipótesis nula que los pesos medios de las plantas en las cuatro parcelas son iguales y la hipótesis alternativa fue que al menos en uno de los pesos medios de las plantas en las parcelas es diferente.

Para calcular las toneladas de residuo total (RT) se utilizó la Fórmula 1 y para determinar la cantidad de toneladas de residuos aprovechable (RA) considerando las hojas con mayor longitud para extraer el material fibroso se usó la Fórmula 2. En ambas fórmulas se debe de considerar que la empresa analizada, reporta una densidad de siembra de 55,000 plantas por hectárea.

$$\text{Cantidad de RT (t/ha)} = \frac{\text{Kilogramos totales}}{\text{Planta}} \times \frac{\text{Número de plantas}}{\text{Hectárea}} \times \frac{1 \text{ tonelada}}{1,000 \text{ kg}} \quad [1]$$

Donde:

RT = residuo total en toneladas por hectárea

$$\text{Cantidad de RA (t/ha)} = \frac{\text{Kilogramos hojas} > 80 \text{ cm}}{\text{Planta}} \times \frac{\text{Número de plantas}}{\text{Hectárea}} \times \frac{1 \text{ tonelada}}{1,000 \text{ kg}} \quad [2]$$

Donde:

RA = residuo aprovechable en toneladas por hectárea

El indicador anterior permitió proyectar la cantidad de biomasa disponible que se puede obtener anualmente, por medio de las Fórmulas 3 y 5 considerando que anualmente se cosechan en promedio alrededor de 2,700 ha. De igual manera, se calculó la disponibilidad del residuo por mes utilizando las Fórmulas 4 y 6 considerando que la producción es similar en todos los meses debido a que la empresa se dedica a la exportación del fruto, por lo tanto, su demanda es continua y constante.

$$\text{Cantidad de RT (t/año)} = \frac{\text{Toneladas de RT}}{\text{Hectárea}} \times \frac{\text{Cantidad de hectáreas cosechadas}}{\text{Año}} \quad [3]$$

$$\text{Cantidad de RT (t/mes)} = \frac{\text{Tonelada de RT}}{\text{Año}} \times \frac{\text{Año}}{12 \text{ meses}} \quad [4]$$

$$\text{Cantidad de RA (t/año)} = \frac{\text{Toneladas de RA}}{\text{Hectárea}} \times \frac{\text{Cantidad de hectáreas cosechadas}}{\text{Año}} \quad [5]$$

$$\text{Cantidad de RA (t/mes)} = \frac{\text{Toneladas de RA}}{\text{Año}} \times \frac{\text{Año}}{12 \text{ meses}} \quad [6]$$

## **Análisis del Rendimiento de la Fracción Lignocelulósica del Rastrojo de Piña y Propiedades Físicoquímicas del Rastrojo**

### **Evaluación de los Parámetros Físicoquímicos del Rastrojo de Piña**

Para el desarrollo de los análisis físicoquímicos se preparó una muestra compuesta a partir de las hojas con longitud superior de 80 cm, incorporando toda la estructura de la hoja. Se tomaron cuatro hojas por cada parcela muestreada, con ello se obtuvieron 16 hojas en total. Se utilizó como base la metodología de Vargas Vargas et al. (2019) para preparar la muestra, inicialmente se limpiaron

las hojas con papel húmedo para retirar impurezas como partículas de polvo y residuos químicos. Luego, se trituraron y mezclaron las hojas para obtener una muestra compuesta.

Los ensayos fueron seleccionados para evaluar las características de la materia prima y su potencial para el desarrollo de algún producto derivado de su contenido de fibra. Los parámetros analizados conforme a métodos estandarizados a nivel internacional (ASTM, por sus siglas en inglés) se resumen en el Cuadro 1, entre los parámetros analizados se encuentran los sólidos totales, cenizas y humedad que contienen las hojas del rastrojo de piña. Para analizar la variabilidad de los datos obtenidos, se tabularon en el programa *Excel*<sup>®</sup> y se les calculó la media, desviación estándar y coeficiente de variación en el programa *Infostat*<sup>®</sup> (Versión 2020).

### Cuadro 1

#### *Parámetros fisicoquímicos en las hojas de piña*

Parámetros analizados	Método	Referencia
Humedad	Humedad en la muestra de análisis de carbón y coque	ASTM D3173
Sólidos totales (ST)	Análisis de carbón y coque	ASTM 2540G
Sólidos volátiles (MV)	Análisis para la eliminación del agua dejando el peso seco	ASTM 2540G
Cenizas	Análisis para determinar los residuos de la incineración	ASTM D3174
Fibra	Extracción de fibra cruda en base seca	Espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS por sus siglas en inglés)

De igual manera, se realizó una revisión de literatura sobre el contenido de lignina, celulosa y hemicelulosa en el rastrojo de piña, así como propiedades físicas de la fibra. Se revisaron 13 documentos que se encontraban entre el período de 2014-2024. La búsqueda se realizó en bases de datos como *Google Académico*, *SciELO*, *ScienceDirect* y *SpringerLink*. Las palabras claves que se utilizaron fueron: composición lignocelulósica, contenido de material fibroso, propiedades físicas de la fibra y pruebas biométricas de la fibra. Los criterios que se consideraron para la selección fueron:

A) Artículos de investigación y tesis con resultados a partir de una metodología experimental. B)

Artículos con hallazgos relevantes. C) Artículos relacionados con los rubros industriales y agroindustriales.

### ***Rendimiento de la Fracción Lignocelulósica***

La cuantificación del rendimiento de la fracción lignocelulósica se determinó basándose en la metodología de Cárdenas Buitrago y Perdomo Sánchez (2020), a partir de una muestra homogénea seleccionada por cada parcela y constituida por 10 hojas con longitud superior a 80 cm (Anexo I).

#### **Extracción Manual.**

Para el proceso de extracción manual del material lignocelulósico, se limpiaron las hojas con papel húmedo y se usó una balanza comercial para registrar el peso inicial de las hojas de cada parcela para obtener el peso fresco del rastrojo. Se retiró la cutícula de la hoja con un pela papa y se extrajo una por una de las fibras con una pinza. Por último, se pesó el material fibroso extraído de cada parcela en una balanza comercial.

#### **Tratamiento Fisicoquímico.**

Para la obtención de la pulpa, el material fibroso se cortó en porciones con un tamaño inferior a 1 cm, utilizando una licuadora Ninja®. El material fibroso extraído fue tratado por inmersión en una solución de hidróxido de sodio al 15% (p/V) manteniendo agitación constante durante 48 horas a temperatura ambiente, para eliminar la resinosa y lignina. El uso de medios alcalinos en el acondicionamiento de las fibras se debe a que favorece la ruptura de los enlaces de hidrógeno que mantienen unida toda la estructura del sistema, con ello, aumentan la rugosidad de la superficie. Además, el tratamiento alcalino elimina parcialmente la lignina, aceites y cera que recubren la parte externa de la pared celular de la fibra (Nayan et al., 2014).

Para el proceso del blanqueamiento se utilizó como base la metodología de Málaga Juárez y Velásquez Ccosi (2020), aplicando un lavado preliminar con agua para remover los residuos alcalinos hasta obtener un pH neutro y seguidamente realizar el blanqueado por inmersión en una solución de

hipoclorito de sodio al 5% por 3 - 4 horas. Luego se realizó un lavado sobre unos tamices varias veces hasta alcanzar un pH neutro. Y se realizó el pesaje del peso de la fibra digerida en una balanza analítica.

Finalmente, la pulpa resultante del proceso de blanqueado se colocó en un molde para secarlo a 60 °C durante 24 horas (Rozo Gélvez et al., 2016). Luego, se realizó el pesaje de la materia prima obtenida en una balanza analítica. Con esto, se obtuvo el rendimiento de fibra seca por cada kilogramo de hoja fresca, permitiendo calcular la fibra seca (FS) por hectárea, anual y mensual al considerar el residuo aprovechable obtenido de las hojas con longitud superior a 80 cm. Esto por medio de las Fórmulas 7, 8 y 9 respectivamente.

$$\text{Cantidad de FS (t/ha)} = \frac{\text{Kilogramos de RA}}{\text{Hectárea}} \times \frac{\text{Kilogramos de fibra seca}}{\text{Kilogramos de RA}} \times \frac{1 \text{ tonelada}}{1,000 \text{ kg}} \quad [7]$$

Donde:

RA = residuo aprovechable en kilogramos por hectárea

FS = fibra seca en toneladas por hectárea

$$\text{Cantidad de FS (t/año)} = \frac{\text{Toneladas de RA}}{\text{Año}} \times \frac{\text{Kilogramos de fibra seca}}{\text{Kilogramos de RA}} \quad [8]$$

$$\text{Cantidad de FS (t/mes)} = \frac{\text{Toneladas de fibra seca}}{\text{Año}} \times \frac{\text{Año}}{12 \text{ meses}} \quad [9]$$

Con base al pesaje realizado en cada fase del proceso de extracción, tanto manual como termoquímica, se sometieron los datos obtenidos a un análisis de medidas de variabilidad; se estimó la media, desviación estándar y coeficiente de variación en el programa *Infostat*<sup>®</sup> (Versión 2020). Cabe mencionar, que se estimó el rendimiento de fibra cruda seca, para ello, se calculó el residuo aprovechable seco por hectárea al considerar el porcentaje promedio del residuo que fue de 81.07% por medio de la Fórmula 10. Luego, con base al porcentaje de fibra cruda en base seca que fue de

22.02%, se estimó la cantidad de fibra cruda seca (FCS) que se puede aprovechar por hectárea a través de la Fórmula 11. Se calculó el rendimiento anual y mensual, utilizando la fórmula 12, 13 y 14.

$$Cantidad\ RAS\ (t/ha) = \frac{Residuo\ aprovechable\ (t/ha)}{1 - \frac{Porcentaje\ de\ humedad}{100}} \quad [10]$$

Donde:

RAS = residuo aprovechable seco en toneladas por hectárea

$$Cantidad\ de\ FCS\ (t/ha) = Cantidad\ RAS\ (t/año) \times \frac{Porcentaje\ de\ fibra\ cruda\ seca}{100} \quad [11]$$

Donde

FCS = fibra cruda seca en toneladas por hectárea

$$Cantidad\ RAS\ (t/año) = \frac{Residuo\ aprovechable\ (t/año)}{1 - \frac{Porcentaje\ de\ humedad}{100}} \quad [12]$$

$$Cantidad\ de\ FCS\ (t/año) = Cantidad\ RAS\ (t/año) \times \frac{Porcentaje\ de\ fibra\ cruda\ seca}{100} \quad [13]$$

$$Cantidad\ de\ FCS\ (t/mes) = Cantidad\ de\ FCS\ (t/año) \times \frac{1\ año}{12\ meses} \quad [14]$$

### **Análisis de la Viabilidad Técnica para la Implementación de la Propuesta de Valorización**

Para el análisis de la viabilidad técnica se realizó una propuesta de productos potenciales a base de la materia prima extraída. Para la realización de una comparación entre los parámetros que requieren los diferentes productos por medio de una revisión de literatura. Así mismo, se evaluaron los recursos físicos y humanos que se requieren para la extracción de la materia prima.

### ***Propuesta de Productos como Alternativas de Valorización del Rastrojo de Piña***

Para el planteamiento de productos, se realizó una revisión de literatura de los productos que se pueden obtener a partir de la fibra del rastrojo en el período de 2010-2024. Se revisaron seis artículos científicos de bases de datos como *Google Académico*, *Dialnet*, *Redalyc* y *SciELO*. Las palabras claves que se utilizaron fueron valorización de residuos, gestión sostenible del residuo de piña, compuestos de fibra de piña y productos a base de rastrojo de piña. Se aplicaron tres criterios para seleccionar la información más relevante: A) Artículos de investigación y tesis con resultados a partir de una metodología experimental. B) Artículos con hallazgos relevantes. C) Artículos relacionados con los rubros industriales y agroindustriales.

### ***Análisis de Recursos para la Extracción de la Fibra con Potencial para la Elaboración de Productos***

Para analizar los recursos para extraer la materia prima con potencial para elaborar otros productos se realizó un análisis a partir de la biomasa disponible en determinado tiempo, maquinaria necesaria para la obtención de la materia prima, insumos accesibles para la empresa, consumo energético y mano de obra requerida para cada etapa de producción de la materia prima. Para ello, se realizó una matriz que contuviera el recurso, la cantidad y costo de cada uno, al considerar que se transformará todo el residuo. Para esto, se realizó una revisión de la maquinaria disponible en el mercado y su capacidad de carga; el sueldo mínimo para el año 2024 en Honduras y se consideró el tiempo que conlleva cada etapa para estimar la cantidad de trabajadores requeridos.

De igual forma, se realizó el análisis de los recursos disponibles para una prueba piloto para proyectar los recursos que se necesitarían para la producción de determinada cantidad de kilogramos de fibra seca al mes. Con la finalidad de verificar que el proceso de transformación sea efectivo, evaluar la aceptación del mercado ante el producto obtenido, contribuir en la evaluación del impacto ambiental y análisis de costos. Para contribuir en la planificación y toma de decisiones respecto al manejo que se le puede brindar al rastrojo.

## Resultados y Discusión

### Estimación de Indicadores de Generación de Residuos

Con base en el pesaje realizado en las parcelas muestreadas, se estimó que el peso fresco promedio por planta fue de 4.54 kg, con una desviación estándar de 0.84 (Cuadro 2). Este es diferente a lo encontrado por Hernández Chaverri y Prado Barragán (2018), quienes encontraron que el peso fue de 3.59 kg por planta con una desviación estándar de 1.03, al considerar que la zona de producción se encontraba a una elevación de 45-1,916 msnm.

El peso por planta varía de acuerdo a las condiciones edafoclimáticas (Pandit et al., 2020). Las altitudes más elevadas afectan el desarrollo de la planta debido a que su fotoperíodo es de aproximadamente de 5 - 6 horas luz al día dependiendo de la variedad (Carmona Tarazona, 2016). Se conoce que una disminución en la luminosidad conlleva la disminución de la fotosíntesis, lo que reduce la producción de carbohidratos en las hojas, que son primordiales para el crecimiento y desarrollo de la planta (Gamboa Barboza, 2006). Además, la empresa AGROPOR cultiva una variedad desarrollada por su equipo de investigadores, lo cual, genera que esta se adapte a las condiciones de la zona garantizando su productividad.

### Cuadro 2

*Promedio de pesos y coeficiente de variación por parcela muestreada, y promedios globales de la media y desviación estándar*

Variable	P1		P2		P3		P4		Promedios globales	
	Media	CV	Media	CV	Media	CV	Media	CV	Media	D. E.
Peso fresco total (kg)	4.97	16.85	3.78	21.62	4.76	8.61	4.64	22.45	4.54	0.84
Peso de hojas < 50 cm (kg)	0.29	114.21	0.23	13.04	0.18	34.69	0.20	63.58	0.23	0.16
Peso de hojas de 50-80 cm (kg)	0.55	42.29	0.38	31.67	0.41	15.36	0.57	34.64	0.48	0.17
Peso de hojas > 80 cm (kg)	3.26	21.27	2.37	22.91	3.18	9.50	2.95	20.41	2.94	0.60
Peso del tallo (kg)	0.53	65.47	0.53	50.64	0.72	14.91	0.61	23.19	0.60	0.22

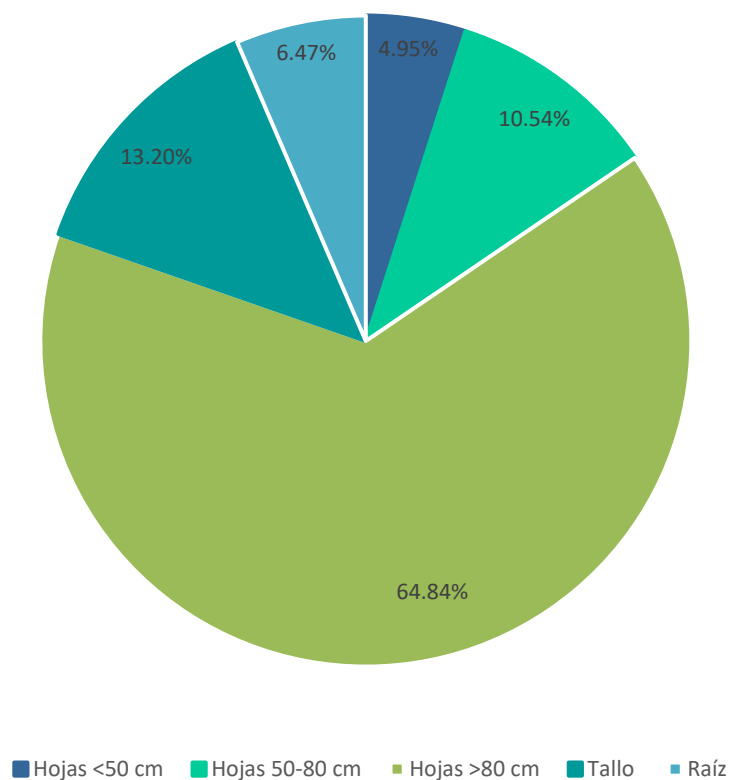
Variable	P1		P2		P3		P4		Promedios globales	
	Media	CV	Media	CV	Media	CV	Media	CV	Media	D.E.
Peso de la raíz (kg)	0.34	0.00	0.27	23.82	0.27	23.82	0.30	20.94	0.29	0.06

*Nota.* Coeficiente de variación = C. V. Desviación estándar = D. E. Parcela 1 = P1. Parcela 2 = P2. Parcela 3 = P3. Parcela 4 = P4.

Las hojas con mayor longitud contienen mayor contenido de fibra, debido a que acumulan componentes lignocelulósicos para mantener su estructura, con ello brindarles resistencia, soporte y rigidez a las paredes celulares de las plantas ante daños mecánicos y pérdida de agua (Macía, 2006). Esto genera que las hojas con mayor longitud sean óptimas para extraer la fibra dura para utilizarla en la elaboración de otros productos (Deaquiz Oyola y Moreno Medina, 2016). Por lo tanto, se estimó que el peso promedio de las hojas con una longitud superior a 80 cm fue de 2.94 kg por planta (Cuadro 2), siendo este el de mayor proporción en comparación al resto de las partes de la planta representando aproximadamente el 65% del total (Figura 3).

**Figura 3**

*Composición porcentual de las partes de la planta de piña*



Debido a que la prueba de normalidad indicó que los datos presentaban una distribución normal (Anexo D), se procedió a realizar el análisis de varianza. En el Cuadro 3, se determinó que el valor de p obtenido para las diferentes variables fue mayor que el nivel de significancia, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula. Esto implica que no hay diferencias significativas entre las parcelas respecto a los pesos de la planta y sus partes. Esto indica que existe homogeneidad en las condiciones del rastrojo en las parcelas evaluadas.

### Cuadro 3

*Análisis de varianza para los pesos promedios de las variables recolectadas en las plantas*

*muestreadas.*

Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV	p-valor
Peso fresco total (kg)	12	0.32	0.07	17.84	0.3517
Peso de hojas < 50 cm	12	0.08	0.00	80.94	0.8752
Peso de hojas de 50-80 cm	12	0.27	0.00	34.93	0.4445
Peso de hojas > 80 cm	12	0.37	0.13	18.85	0.2724
Peso del tallo	12	0.14	0.00	39.55	0.7311
Peso de la raíz	12	0.31	0.06	18.70	0.3630

*Nota.* Nivel de significancia  $p > 0.05$ . N = número de unidades experimentales. Coeficiente de determinación = R<sup>2</sup>. R cuadrado ajustado = Adj

R<sup>2</sup>. CV = coeficiente de variación.

### Estimación de la Cantidad Disponible de Rastrojo

La empresa analizada maneja una densidad de 55,000 plantas por hectárea y con base al peso promedio de la planta, se estimó una generación promedio de 250 t/ha (Cuadro 4). Esto es similar a lo encontrado por Vega Rodríguez y Hernández Chaverri (2020), quienes encontraron que se genera 249 t/ha con una densidad de 69,747 plantas por hectárea y un peso promedio de 3.57 kg/planta en la variedad MD-2. Sin embargo, esto es diferente a lo encontrado por Hernández Chaverri y Prado Barragán (2018), quienes reportaron que la generación de rastrojo es de aproximadamente 262 t/ha, con una densidad de 73,000 plantas por hectárea y un peso promedio de 3.59 kg/planta en la variedad MD-2. Esto indica que otro factor que influye en la biomasa producida es la densidad de siembra que se implemente en el cultivo.

De igual manera, al tomar en cuenta que la empresa cosecha anualmente alrededor de 2,700 ha, se estimó que la producción promedio anual del residuo es de 673,912 t. Cabe mencionar, que la empresa maneja ciclos productivos de 23 semanas, teniendo como un ciclo de rotación entre lotes de 2.1 - 2.5 años, lo que indica que cada lote de producción se cosecha en ese intervalo de tiempo. Esto permite que implementen un plan de cosecha rotativo que incluya períodos de descanso de los

terrenos y tengan producto para exportar todos los meses del año de manera constante. Por lo tanto, la estimación de la biomasa del residuo total por mes fue de 56,159.3 t y 1,871.98 t/día, esto al considerar que cada mes laboral es de 30 días (Cuadro 4).

Por otro lado, con base al pesaje promedio realizado en las parcelas, se estimó que la biomasa generada por las hojas con longitud superior a 80 cm fue de 162 t/ha de residuos aprovechables; 436,989.97 t/año y 36,415.83 t/mes, este siendo equivalente a 1,213.86 t/día. Cabe mencionar, que previo al desarrollo de esta investigación, la empresa no contaba con datos históricos sobre la cuantificación de rastrojo en campo, lo cual es importante para la planificación de la estrategia de gestión del residuo.

#### **Cuadro 4**

*Generación de residuos totales y aprovechables anuales, mensuales y diarios*

Parámetro	Residuos totales (toneladas)	Residuos aprovechables (toneladas)
Producción por hectárea	250.00	162.00
Producción anual	673,912.00	436,989.97
Producción mensual	56,159.30	36,415.83
Producción diaria	1,871.98	1,213.86

#### **Características Físicoquímicas del Rastrojo**

Se encontró que el porcentaje de humedad promedio es de 81.78% (Cuadro 5). Esto es similar a lo encontrado por Málaga Juárez y Velásquez Ccosi (2020), quienes encontraron 85.54% de humedad en el rastrojo de piña. El contenido de humedad influye en el tipo de extracción que se utilizará en el rastrojo para obtener la fibra, dado que para la extracción mecánica del material fibroso es necesario que las hojas del rastrojo de piña presenten un alto contenido de humedad. Sin embargo, esto reduce el tiempo de almacenamiento de las hojas antes de iniciar su proceso de transformación.

Asimismo, se determinó que el porcentaje de cenizas promedio es de 5.44%. Este es similar a lo encontrado por Ramírez Alfonso y Reyes Nieto (2017), quienes reportaron 4.25% de contenido de cenizas en la cáscara de piña de la variedad MD-2. Por otra parte, esto es similar a lo encontrado por

López Herrera et al. (2014), quienes determinaron 5.2% de cenizas. Sin embargo, el estudio realizado por Jaikel Víquez y Ulate Brenes (2021), reportó 11.62% de contenido de cenizas, esto es debido a que el contenido de cenizas depende de las características prácticas de producción del cultivo, cosecha y los minerales presentes en el suelo. Cabe mencionar, que el dato obtenido en esta investigación es bajo al considerar que su cálculo se realizó en base seca. Esto implica que el valor calorífico puede ser mayor, lo cual indica que puede obtenerse más energía por unidad de masa del combustible.

El parámetro que presentó mayor variación fue el contenido de cenizas, esto se asocia al manejo que se le brinda al rastrojo al momento de transportarlo (Jaikel Víquez y Ulate Brenes, 2021). Por otra parte, el contenido de humedad presentó una mayor uniformidad en las muestras analizadas. Y, el contenido de sólidos totales y volátiles presentan una variabilidad moderada, lo que implica una inconsistencia menor en el contenido de determinados sólidos en las muestras.

## Cuadro 5

### *Caracterización fisicoquímica del rastrojo de piña*

Parámetros analizados	Valor promedio	D. E.	CV
Humedad (%)	81.07	1.35	1.66
Sólidos totales (%)	18.93	1.55	7.11
Sólidos volátiles (%)	17.90	1.30	7.28
Cenizas (%)	5.44	0.55	10.05

*Nota.* Desviación estándar = D. E. Coeficiente de variación = CV

Por otra parte, la variedad que cultiva la empresa presentó 22.07% de fibra cruda. Este dato es similar a lo encontrado por Málaga Juárez y Velásquez Ccosi (2020), quienes encontraron 17.84% de fibra en las hojas de la variedad MD-2 con un proceso de extracción mecánico. Esto debido a que al realizar un proceso mecánico implica que se pierde cierto porcentaje del material fibroso en la máquina y la calidad de las características de la fibra disminuyen por el agresivo y constante raspado en la hoja (Sierra Londoño, 2015).

Según la literatura revisada, generalmente el mayor componente lignocelulósico en el rastrojo de piña es la celulosa (Cuadro 6). No obstante, este material fibroso también se compone por la hemicelulosa y lignina. Cabe mencionar que, López Herrera et al. (2014) indican que el contenido de

la fracción lignocelulósica dependerá de la parte evaluada, así como la variedad que se está analizando. De acuerdo con Irías y Lutz (2014), la composición química del rastrojo dependerá de las condiciones edafoclimáticas.

### Cuadro 6

*Revisión de literatura sobre el contenido de la fracción lignocelulósica en el rastrojo de piña*

Componente	Vargas Masén et al. (2023)	Maneeintr et al. (2018)	López Herrera et al. (2014)	Irías y Lutz (2014)	Mendoza Cisneros et al. (2020)	Málaga Juárez y Velásquez Ccosi (2020)
Celulosa (% m/m)	35.80	27.58	25.80	32.00	44.04	43.93
Hemicelulosa (% m/m)	18.60	51.30	17.3	--	--	--
Lignina (% m/m)	20.00	20.43	3.40	10.30	12.34	12.23
Holocelulosa (% m/m)	--	0.55	--	35.00	41.72	41.62

En el Cuadro 6, se puede observar que el contenido de celulosa es el de mayor proporción. Esto indica que el rastrojo de piña es una materia prima potencial para la elaboración de papel y textiles (Irías y Lutz, 2014). Por otra parte, la lignina es importante debido a que este componente se desea extraer y eliminar de las fibras vegetales (Vargas Masén et al., 2023). Este componente al representar un bajo porcentaje implica que su eliminación será más fácil, para ello se le aplican procesos termoquímicos para removerlo. Así coadyubando en la elaboración de productos que requieran que exista un incremento en la adhesión de las fibras para la formación del material (Mendoza Cisneros et al., 2020).

En el Cuadro 7 se realizó una comparación de las propiedades del rastrojo de piña con diferentes materias primas que son potenciales para ser utilizadas para el aprovechamiento de la fibra para la elaboración de otros productos como papel, textiles y empaques. Esto con el fin de evaluar que el rastrojo presenta valores similares respecto al contenido lignocelulósico y humedad en comparación a otros materiales utilizados en la elaboración de productos de la misma línea. Los valores obtenidos en el rastrojo de piña respecto al contenido de celulosa, hemicelulosa y humedad

son cercanos a los otros materiales. Siendo el contenido de lignina el que presenta una menor cantidad en comparación a los otros componentes.

### Cuadro 7

*Comparación de propiedades fisicoquímicas de materias primas potenciales para aprovechar la fibra*

Materia prima	Celulosa (%)	Lignina (%)	Hemicelulosa (%)	Holocelulosa (%)	Humedad (%)	Referencia
Bambú ( <i>Guadua angustifolia</i> )	44.49	24.95	10.18	54.67	80-85	(Césare et al., 2019)
Canelo ( <i>Drimys winteri</i> )	53.49	28.28	12.45	--	85.74	(Asimbaya Sellán, 2016) (Asimbaya et al., 2015)
Fique ( <i>Furcraea macrophylla</i> )	41.81	15.56	22.17	--	85.36	(Escalante et al., 2014)
Limoncillo ( <i>Cymbopogon citratus</i> )	46.90	21.30	--	--	12.36	(Carvajal Quintero, 2015)
Rastrojo de piña	34.85	13.11	29.07	29.72	80-85	Promedios de datos (Cuadro 5, 6) (§)

Nota: (§) = los datos del rastrojo de piña en el Cuadro 7 fueron calculados en base a la revisión de literatura realizada en el Cuadro 5 y 6.

En el Cuadro 8, se resumen las características biométricas de las fibras de las siguientes materias primas: bambú, canelo, fique, limoncillo y papaya (Benitez et al., 2019), esto con el objeto de comparar esos valores con los del rastrojo de piña. Cabe mencionar, que el índice de Runkel se refiere a la correlación existente entre el doble del espesor de la pared y el diámetro del lumen de la fibra. Por lo que, según la clasificación de Runkel, entre menor sea el valor significa que el material es más apto para la elaboración de papel. Un valor entre 1-2 implica que su calidad es regular, por lo tanto, el rastrojo se sitúa en esa clasificación al presentar un valor de 1.028 (Mendoza Cisneros et al., 2020).

Por otra parte, el índice de flexibilidad indica que entre mayor sea el valor implica que el grosor de la pared de las fibras es más delgado, lo que implica que las fibras tendrán una mayor área de contacto y buena adhesión entre fibras. El valor de flexibilidad menor a 0.3 indica que la pared es

gruesa, por lo que las fibras no se colapsaran y existe una menor unión entre fibras (Mendoza Cisneros et al., 2020).

### Cuadro 8

*Comparación de propiedades físicas de la fibra de diferentes materias primas*

Propiedad	Bambú	Canelo	Fique	Limoncillo	Papaya	Rastrojo de piña
Índice de Runkel	3.16	0.54	0.67	0.70	0.70	1.028
Índice de flexibilidad	0.24	0.65	0.60	0.59	0.59	0.27
Referencia	(Benitez et al., 2019)					(Mendoza Cisneros et al., 2020)

### Rendimiento del Material Lignocelulósico

Con base a los datos obtenidos a partir de la extracción manual y termoquímica. En la cual, se obtiene el contenido del material fibroso. Con base a los pesos promedios en cada etapa de la extracción de material lignocelulósico, se estimó que se obtiene 0.02 kg de fibra seca por cada kilogramo de rastrojo fresco (Cuadro 9). Por lo tanto, se obtiene aproximadamente el 2% de fibra al realizar un proceso manual. Este es similar a lo encontrado por Banik et al. (2011), quienes indicaron que la hoja de la piña contiene entre 2.5-3.5% de fibra al implementar un método de extracción manual. También, indican que el contenido es bajo debido a que la fibra se encuentra cubierta por una capa de cerosa superior e inferior y se realiza la selección con potencial textil, además este varía dependiendo de la variedad.

### Cuadro 9

*Medidas de variabilidad de los datos sobre la extracción de material fibroso en las parcelas*

*analizadas*

Variable	Valor promedio	D. E.	Varianza	CV
Peso fresco de rastrojo (kg)	0.844	0.09	0.01	10.21
Peso de material fibroso (kg)	0.359	0.04	1.0E-03	10.39

Variable	Valor promedio	D. E.	Varianza	CV
Peso de fibra digerida (kg)	0.124	0.01	1.3E-04	10.53
Peso de fibra seca (kg)	0.016	1.7E-03	2.2E-06	10.13

*Nota.* Desviación estándar = D. E. Coeficiente de variación = CV

En el Cuadro 9, el coeficiente de variación para las variables es menor al 30%, por lo tanto los valores de los datos tienden a tener una menor dispersión en comparación con la media de estos. De igual manera, las variaciones entre los pesos promedios entre cada etapa son debido a que el material se somete a procesos químicos donde se digiere el material no fibroso y los procesos térmicos generan que se evapore el agua.

Al considerar las características productivas de la empresa utilizados en la estimación de la cantidad de biomasa disponible y la cantidad de residuo aprovechable por hectárea, año y mensual, se estimó que el rendimiento de fibra seca por hectárea fue de 3.23 t/ha y 8,719.96 t/año, y este equivalente a 726.66 t/mes y 24.22 t/día, esta cantidad de biomasa se encuentra disponible en campo (Cuadro 10).

Por otra parte, al considerar el porcentaje de fibra cruda en base seca, el cual fue de 22%, se estimó que se generan 188.27 t de fibra cruda seca por hectárea y 508,321 t/año, este equivale a 42,360.09 t/mensual y 1,412.00 t/día (Cuadro 10). La cantidad de fibra recuperada es mayor debido a que la metodología que se implementa es estandarizada controlada que permite asegurar la consistencia y reproductibilidad de los datos resultantes. No obstante, se tiene que considerar que el método implementado fue el de espectroscopia de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano (NIRS por sus siglas en inglés), este predice el contenido de fibra cruda en base seca a partir de referencias con composiciones de químicas conocidas (Möller, 2014; Zamudio Bravo, 2016).

En cambio, en la extracción manual y termoquímica es menor la cantidad de fibra recuperada debido a pérdidas mecánicas o reacciones químicas indeseables. Además, estos procesos son susceptibles a variaciones de acuerdo con las condiciones del manejo que se le brinde al residuo aprovechable tanto en el procesamiento como condiciones climáticas.

**Cuadro 10***Producción de fibra seca*

Parámetro	Fibra seca (toneladas) por método manual y fisicoquímico	Fibra seca (toneladas) por fibra cruda
Producción por hectárea	3.23	188.27
Producción anual	8,719.96	508,321.00
Producción mensual	726.66	42,360.09
Producción diaria	24.22	1,412.00

**Análisis de Viabilidad Técnica para la Implementación de la Propuesta de Valorización*****Propuesta de Productos como Alternativas del Rastrojo de Piña***

Actualmente los residuos generados a partir del rastrojo de piña son incorporados directamente en el suelo de los lotes de producción después de la realización de la cosecha al utilizar maquinaria agrícola. Esto con el propósito de mejorar la fertilidad y capacidad de retención de humedad del suelo. Sin embargo, estos residuos son una fuente de propagación de microorganismos y emisión de gases de efecto invernadero, y este residuo orgánico es de lenta descomposición debido a su composición química, que se constituye principalmente de celulosa (Fallas Rojas, 2019). De igual manera, las frutas de descarte son transportadas a plantas industriales dedicadas a la elaboración de jugos y la parte superior del fruto de piña es trasladado a un relleno.

Según la literatura revisada, se han identificado alternativas tanto a nivel de la cadena comercial local, nacional e internacional, como en el área de investigación. Este residuo tiene un alto potencial como materia prima para la elaboración de una amplia gama de productos con valor agregado como telares, papel y empaques. Además, el aprovechamiento del rastrojo de piña coadyuba a la reducción de residuos y producción sostenible. En el Cuadro 11, se resumen las alternativas de los productos potenciales identificados en el mercado y literatura, al considerar las características fisicoquímicas del rastrojo de piña revisadas en el Cuadros 5, 6 , 7 y 8.

**Cuadro 11***Matriz de propuestas de valorización de la fracción lignocelulósica del rastrojo de piña*

Producto	Descripción	Requerimientos de características fisicoquímicas	Características fisicoquímicas de materia prima	Usos	Referencias
Papel	Material proveniente de fibras vegetales, el cual, tiene ligereza, flexibilidad y capacidad de adsorción.	Humedad: 80-85% Lignina: 28.6% Holocelulosa: 68.3% Celulosa: 43.9% Índice de Runkel: < 2 Índice de flexibilidad: < 0.3	Humedad: 85.54% Lignina: 12.32% Holocelulosa: 41.72% Celulosa: 43.93% Índice de Runkel: 1 Índice de flexibilidad: 0.273	Higiene personal, oficina, empaque de frutos.	(Málaga Juárez y Velásquez Ccosi, 2020) (Mendoza Cisneros et al., 2020)
Telares	Material proveniente de fibras vegetales, realizado por medio del entrelazado de hilos.	Humedad: 60-80% Celulosa: 30-50% Fuerza de tracción (Mpa): 5,560	Humedad: 80-85% Celulosa: 30.33-27.93% Lignina: 16.53-18.56% Fuerza de tracción (MPa): 958	Indumentaria	(Huallpa Oscanoa y Alcántara Boza, 2019)
Bandejas	Material orgánico	Humedad: 80% Celulosa: 40-50%	Humedad: 80% Fibra: 18%	Empaque de frutos.	(Lesmes Correa, 2023)

Nota. MPa = megapascal.

Cabe mencionar, que la empresa actualmente no implementa un proceso de aprovechamiento del material fibroso del rastrojo para la elaboración de productos enfocados en la línea textil y papel. No obstante, la extracción de la fibra para la elaboración de productos es una alternativa potencial, considerando que la empresa tiene una serie de certificaciones que engloban áreas ambientales, sociales y económicos. Estas tienen la finalidad promover y garantizar la calidad de los productos, gestión ambiental, seguridad alimentaria, responsabilidad social y salud. Esto permite demostrar su compromiso con el bienestar común, fortaleciendo su reputación y confianza con los clientes.

La certificación ISO 14001, es estandarizada a nivel internacional para la gestión ambiental en las organizaciones. Con ella, se puede establecer los requisitos necesarios para identificar, controlar y reducir el impacto ambiental de las actividades de la cadena productiva (Silva Garcés, 2023). Por tal razón, la utilización del rastrojo de piña para extraer la fibra y generar una materia prima que sea funcional como material de empaque tiene potencial desde el aspecto ambiental.

Cabe señalar, que la valorización de la fibra del rastrojo de piña ha tenido un auge en el comercio internacional al presentar propiedades óptimas para la elaboración de determinados productos. La empresa Ananas Anam ha desarrollado un material no tejido de origen vegetal que es un producto alternativo al cuero. Las fibras de la hoja del rastrojo de piña que se utilizan para la elaboración del producto son aproximadamente el 2% de los residuos totales. El resto del residuo se descarta y lo utilizan como abono (Durán y Piñar, 2019). De igual manera, la sede de Dole Food Company Inc., en Filipinas ha realizado una asociación con Ananas Anam, al comercializarles las hojas del rastrojo de piña para que realicen su producto.

#### ***Análisis de Recursos para la Extracción de la Fibra con Potencial para la Elaboración de Productos***

El rastrojo de piña destinado a la extracción de fibra debe de contener un alto contenido de humedad para facilitar la extracción manual. Por lo tanto, este material no es recomendado almacenarlo y es conveniente procesarlo después de la recolección en campo. La disponibilidad de rastrojo es diaria, dado que la empresa tiene una producción constante. La producción máxima es durante los meses de abril, mayo y junio debido a que presentan los valores más altos de radiación y temperatura en el año, lo cual contribuye en la floración y producción de frutos, este equivale a una planta que se convierte en residuo.

Con base a la producción de rastrojo al día, una jornada laboral de 8 horas y 22 días al mes, se estimó que un trabajador puede cosechar aproximadamente 1.30 t de residuo fresco total al día y 0.87 t de residuo aprovechable al día de forma manual. Por lo que, se estimó la cantidad de empleados que se requieren para estas dos actividades. De igual manera, se necesitan carretones para trasladar las

hojas desde el campo al centro de procesamiento. En esta fase, se necesitan dos transportistas fijos. En el procesamiento termoquímico de la fibra se estiman dos operarios fijos.

Se debe de considerar que los empleados que se requieren son adicionales a los actuales para llevar a cabo el procesamiento de la materia prima. De igual manera, el salario mínimo diario de 8 horas laborales que se consideró fue de HNL 359.55, equivalente a USD 14.53 (Vasquez, 2024). Por lo que, se estimaron los costos por recolección y clasificación del residuo aprovechable al año, de igual manera, se estimaron los costos para el transporte y procesamiento del rastrojo.

Según Banik et al. (2011), el método manual para la extracción de la fibra foliar de piña se utiliza solo con fines académicos porque no puede satisfacer la demanda comercial. Por lo que, se han implementado desfibradores mecánicos para extraer el material fibroso, para ello se requiere que el rastrojo contenga aproximadamente 80% de humedad para facilitarle la operación al desfibrador (Málaga Juárez y Velásquez Ccosi, 2020). En la empresa Ananas Anam usan desfibradoras para obtener este componente lignocelulósico para generar su producto llamado Piñatex®, el cual, es una alternativa al cuero (Durán y Piñar, 2019). Por lo tanto, se recomienda una desfibradora 36 modelo BFCRX-120BB® con una capacidad de 1,000 kg/h, con ello se considera un día laboral de 8 h/día, 22 días labores al mes y el precio unitario por máquina de USD 1,850; por lo tanto, se estimaron que se necesitan 207 máquinas generando un costo de USD 382,780.04 para poder procesar el total de biomasa disponible.

Aunado a lo anterior, el costo de electricidad de la máquina al considerar que su potencia es de 7.5 kW, generando un consumo diario de 60 kWh. Cabe mencionar, que el precio de cada kW tiene un precio de USD 0.19 en promedio. Esto indica que el costo por electricidad es de USD 622,710.71 al año (Anexo J). Para el proceso químico se necesita hidróxido de sodio e hipoclorito de sodio, estos insumos se encuentran disponibles en tiendas comerciales nacionales.

Así mismo, se necesita un horno industrial para secar la fibra y obtener el producto, para ello se consideró un horno comercial con capacidad de 360 t, que implica la adquisición de 82 hornos con

un valor de USD 2,500 por cada uno. Este horno tiene una potencia de 1.1 kW, por ello, generó un costo de USD 4,113.12 al año. No obstante, una alternativa es la implementación de secado solar. La empresa AGROPOR, actualmente no tiene la maquinaria para el procesamiento de la materia prima.

La empresa tiene 18 pozos activos que suministran el agua dentro de las instalaciones. El requerimiento de agua para el procesamiento, al considerar que para el proceso se requiere aproximadamente de 6.97 m<sup>3</sup> de agua por cada tonelada de rastrojo, se estimó que por día el consumo sería de 8,453.57 m<sup>3</sup>. En el Cuadro 12, se presentan los costos generados al procesar todo el residuo disponible y aprovechable. Cabe señalar, que el requerimiento de personal, adquisición de maquinaria e insumos representa una barrera para la viabilidad del proyecto porque la empresa se enfoca en la producción y no en el aprovechamiento del material fibroso. Por ello, se presentan los costos que conllevaría un modelo piloto para obtener 1,000 t de material aprovechable por mes. Esto puede contribuir en la toma de decisiones respecto al manejo del rastrojo.

## Cuadro 12

### *Costo de la producción total y costo de la prueba piloto*

Recurso	Producción total		Prueba piloto	
	Cantidad	Costo (USD/año)	Cantidad	Costo (USD/mes)
Desfibradora	207 unidades	382,780.04	7 unidad	12,950
Horno	82 unidades	202,710.82	8 unidad	20,000
Personal	1,958 empleados	7,512,036.00	59 empleados	857.80
Insumos	82.76 t	2,095,644.62	2.5 t	52,750
Electricidad	3,467,927 kWh	626,823.83	490.4 kWh	93.18

Cabe señalar, que la valorización de este residuo al considerar las 8,719.96 t del material potencial puede generar ingresos al considerar que en el mercado 50 g de fibra tiene un valor de USD 3.00; con base a esto se estimó que se podrían generar USD 871,996,187.05 al año (Cuadro 13). De igual manera, al procesar el residuo aprovechable, se evita la emisión de 1,669.87 t CO<sub>2</sub>eq/año (Anexo K). Por otra parte, al considerar la prueba piloto se estima que las 12 t de material, pueden generar USD 1,200,000 al año y evita la generación de 2.29 t CO<sub>2</sub> eq/año.

**Cuadro 13**

*Comparación de ingresos y emisiones de CO<sub>2</sub> eq evitadas entre la producción total y prueba piloto*

Parámetro	Producción total	Prueba piloto
Fibra seca (t/año)	8,719.962	12
Ingresos (USD/año)	871,996,187.05	1,200,000
Toneladas CO <sub>2</sub> eq/año	1,669.87	2.29

En el Cuadro 14, se resume la viabilidad de los recursos considerando una escala de: baja, media y alta, donde la mayoría se categorizó con una viabilidad media, dado que la empresa tiene un enfoque productivo y no de generar subproductos a base de rastrojo. Cabe señalar, que a pesar de que la empresa tiene un enfoque productivo para la exportación de fruto, la extracción de fibra para la elaboración de productos tiene potencial para generar un proyecto de responsabilidad dentro de las comunidades cercanas a la empresa, enfocándose en las mujeres. Por otro lado, podrían realizar la venta del residuo disponible y funcional a empresas externas que se dediquen a la producción de productos que utilicen fibra vegetal como materia prima.

**Cuadro 14**

*Evaluación de viabilidad de los recursos necesarios para la extracción de fibra del rastrojo de piña*

Recurso	Descripción	Viabilidad
Residuo aprovechable	Residuo aprovechable y disponible para la extracción de fibra	Alta
Mano de obra	Para la recolección y clasificación del residuo aprovechable.	Media
Maquinaria	Para la extracción de la fibra de manera mecánica	Baja
Electricidad	Para el funcionamiento de las máquinas	Media
Hidróxido de sodio	Compuesto químico utilizado en la industria de la elaboración de papel y tejidos.	Media
Hipoclorito de sodio	Compuesto químico utilizado para el blanqueamiento de la materia prima	Media
Horno	Para el secado de la fibra para obtener la materia prima	Media

### Conclusiones

La dinámica de operación de la empresa Dole Food Company Inc., se desarrolla de manera permanente, generando residuos a lo largo del año con una producción promedio mensual de 36,415.83 t de las hojas con longitud superior a 80 cm, que representa la fracción con mayor contenido de material lignocelulósico con potencial para su valorización.

Por cada 100 kg de materia seca de rastrojo seleccionado se obtienen 10.54 kg de material con potencial de transformación. Esto equivale a 8,719.96 t/año de material lignocelulósico con potencial de transformación.

De acuerdo con las propiedades fisicoquímicas obtenidas, principalmente por el contenido de fibra, el índice de Runkel y el de flexibilidad, el material extraído presenta características favorables para la producción de papel, empaques y textiles.

El procesamiento de la totalidad de residuos para su valorización representa una alternativa con baja viabilidad debido a que carecen de maquinaria, insumos y personal para su respectiva transformación. Sin embargo, su implementación a escala piloto se postula como una oportunidad para implementar estrategias de valor compartido con las comunidades, lo cual puede contribuir en el futuro escalamiento del proyecto al tener una base sobre la eficiencia del proceso y viabilidad a largo plazo.

### **Recomendaciones**

Evaluar el impacto de las prácticas actuales mantenidas por la empresa, tanto en la generación de emisiones GEI como en la calidad del suelo.

Realizar análisis físicos y de resistencia del material a la materia prima obtenida con potencial para la elaboración de productos.

Realizar una evaluación sobre el potencial del residuo generado a partir de la extracción del material fibroso del rastrojo de piña para la elaboración de un producto al considerar sus características fisicoquímicas.

Evaluar el impacto que genera la producción de materia prima con potencial para la elaboración de productos, por medio de un balance de materiales y jerarquización de los residuos.

Realizar un estudio para evaluar la viabilidad económica del aprovechamiento del rastrojo de piña como materia prima con potencial para la elaboración de productos en la empresa AGROPOR.

Realizar un ensayo piloto para poder realizar un posterior escalamiento de la actividad de valorización del residuo.

Evaluar el potencial de la parte superior del fruto de la piña para su transformación y valorización a través de productos derivados de dichas partes para fines energéticos y agrícolas.

### Referencias

- Aguilera Arango, G. A., Puentes Díaz, C. L. y Morillo Coronado, Y. (2022). Importancia de los recursos genéticos de la piña (*Ananas comosus* [L.] Merr. var. *comosus*) en Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 33(2). <https://www.redalyc.org/journal/437/43769732018/html/>
- Araya Chavarría, K. (2021). *Nanofibrilación de celulosa extraída a partir del rastrojo de la piña (Ananas comosus)* [Tesis de graduación]. Universidad Nacional, UNA, Costa Rica. <https://repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/21584/05.%20Nanofibrilaci%C3%B3n%20de%20celulosa%20extra%C3%ADda%20a%20partir%20del%20rastrojo%20de%20la%20pi%C3%B1a.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ariano Reyes, J. J. (2021). *Plan de exportación de piña (Ananas comosus) var. MD2 de Guatemala hacia Estados Unidos* [Proyecto especial de graduación]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/c86af134-bb98-4121-8c4a-444be120bdee/content>
- Asimbaya, C., Rosas, N., Endara, D. y Guerrero, V. H. (2015). Obtención de carbón activado a partir de residuos lignocelulósicos de canelo, laurel y eucalipto. *Revista Politécnica*, 36(3). <https://www.redalyc.org/pdf/6887/688773647004.pdf>
- Asimbaya Sellán, C. G. (2016). *Obtención de materiales compuestos con propiedades magnéticas para la remoción de zinc a partir de residuos lignocelulósicos* [Proyecto]. Escuela Politécnica Nacional, Ecuador. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/15352/1/CD-7048.pdf>
- Banik, S., Nag, D. y Dabnath, S. (2011). Utilization of pineapple leaf agro-waste for extraction of fibre and the residual biomass for vermicomposting. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 36, 172–177. [https://www.researchgate.net/publication/266875906\\_Utilization\\_of\\_pineapple\\_leaf\\_agro-waste\\_for\\_extraction\\_of\\_fibre\\_and\\_the\\_residual\\_biomass\\_for\\_vermicomposting](https://www.researchgate.net/publication/266875906_Utilization_of_pineapple_leaf_agro-waste_for_extraction_of_fibre_and_the_residual_biomass_for_vermicomposting)
- Benitez, J. B., Popo Amu, M., Vallejos, M. E. y Area, M. C. (2019). Calidad de papel artesanal a partir de fibras no convencionales de cinco especies colombianas. *Revista De Ciencia Y Tecnología*(31), 1–10. [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1851-75872019000100005](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-75872019000100005)
- Cárdenas Buitrago, A. J. y Perdomo Sánchez, J. L. (2020). *Desarrollo de un producto a partir de la fibra del rastrojo de piña tipo nativo en la reserva Miramar en el municipio de Dibulla, La Guajira* [Trabajo de grado]. Universidad de La Salle, Colombia. [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1141&context=ing\\_industrial](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1141&context=ing_industrial)
- Carmona Tarazona, J. F. (2016). *Implementación de alternativas tecnológica en piña (Ananas comosus) para el fortalecimiento del sector piñero en Arauquita* [Trabajo de Grado]. Universidad de La Salle, México. [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1053&context=ingenieria\\_agronomica](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1053&context=ingenieria_agronomica)
- Carvajal Quintero, J. (2015). *Obtención de carbón activado a partir de residuos del limoncillo (Cymbopogon citratus) mediante activación con ácido fosfórico* [Trabajo de grado]. Universidad de Cauca, Colombia. <http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/bitstream/handle/123456789/7332/Obtenci%C3%99>

B3n%20de%20carb%C3%B3n%20activado%20a%20partir%20de%20residuos%20de%20limoncillo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Césare, M. F., Hilario, F., Callupe, N., Cruz, L., Calle, J. y Gonzáles, H. (2019). Caracterización química y física del bambú. *Avances En Ciencias E Ingeniería*, 10(4), 1–13. <https://www.executivebs.org/publishing.cl/aci/2019/Vol10/Nro4/1-ACI1336-19-full.pdf>
- Deaquiz Oyola, Y. A. y Moreno Medina, B. L. (2016). Producción y biosíntesis de fibras vegetales. Una revisión. *Conexión Agropecuaria*, 6(1), 29–42. <https://revista.jdc.edu.co/index.php/conexagro/article/download/53/51>
- Dey, T., Bhattacharjee, T., Nag, P., Ritika, Ghati, A. y Kuila, A. (2021). Valorization of agro-waste into value added products for sustainable development. *Bioresource Technology Reports*, 16. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100834>
- Durán, N. y Piñar, J. C. (2019). *Análisis de inversión y ruta crítica para desarrollar industria de productos de un solo uso renovables y compostables a base de biofibras*. [https://www.oneplanetnetwork.org/sites/default/files/from-crm/240-84d7f721131e47824e330000a0222214\\_INVERSION\\_Y\\_RUTA\\_PARA\\_EL\\_DESARROLLO\\_DE\\_LA\\_INDUSTRIA\\_DE\\_PRODUCTOS\\_A\\_BASE\\_DE\\_BIOFIBRAS\\_WEB.pdf](https://www.oneplanetnetwork.org/sites/default/files/from-crm/240-84d7f721131e47824e330000a0222214_INVERSION_Y_RUTA_PARA_EL_DESARROLLO_DE_LA_INDUSTRIA_DE_PRODUCTOS_A_BASE_DE_BIOFIBRAS_WEB.pdf)
- Escalante, H., Guzmán, C. y Castro, L. (2014). Anaerobic digestion of fique bagasse: An energy alternative. *Dyna*, 81(183), 74–85. [https://www.researchgate.net/publication/273477146\\_Anaerobic\\_digestion\\_of\\_fique\\_bagasse\\_An\\_energy\\_alternative](https://www.researchgate.net/publication/273477146_Anaerobic_digestion_of_fique_bagasse_An_energy_alternative)
- Fallas Rojas, T. M. (2019). *Factores de emisión de gases de efecto invernadero según el manejo del rastrojo en el cultivo de piña (Ananas comosus, var. comosus)* [Trabajo final de graduación]. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica. [https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/11395/factores\\_de\\_emisi%C3%B3n\\_de\\_gases\\_de\\_efecto\\_invernadero\\_seg%C3%BA\\_n\\_el\\_manejo\\_del\\_rastrojo\\_en\\_el\\_cultivo\\_de\\_pi%C3%B1a\\_%28Ananas%20comosus%2C%20var.%20comosus%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/11395/factores_de_emisi%C3%B3n_de_gases_de_efecto_invernadero_seg%C3%BA_n_el_manejo_del_rastrojo_en_el_cultivo_de_pi%C3%B1a_%28Ananas%20comosus%2C%20var.%20comosus%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=)
- Gamboa Barboza, A. E. (2006). *Efecto del peso de la planta al forzamiento sobre el rendimiento y calidad de la fruta en piña (Ananas comosus) (L.) Merr híbrido MD-2* [Trabajo final de graduación]. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica. <https://core.ac.uk/download/pdf/60991181.pdf>
- Gómez Soto, J. A., Sánchez Toro, Ó. J. y Matallana Pérez, L. G. (2019). Residuos urbanos, agrícolas y pecuarios en el contexto de las biorrefinerías. *Facultad de Ingeniería*, 28(53), 7–32. <https://www.redalyc.org/journal/4139/413961282001/html/>
- Hernández Chaverri, R. A. y Prado Barragán, L. A. (2018). Impacto y oportunidades de biorrefinería de los desechos agrícolas del cultivo de piña (*Ananas comosus*) en Costa Rica. *Cuadernos de Investigación*, 10(2), 455–468. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=515657704026>
- Huallpa Oscanoa, E. y Alcántara Boza, A. (2019). Utilización de las hojas de piña para elaborar telares. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 22(43), 127–132. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v22i43.16698>

- Ibarra Sáiz, M. S., González Elorza, A. y Rodríguez Gómez, G. (2023). Vista de aportaciones metodológicas para el uso de la entrevista semiestructurada en la investigación educativa a partir de un estudio de caso múltiple. *Revista De Investigación Educativa*, 41(2). <https://revistas.um.es/rie/article/view/546401/345001>
- Irías, A. y Lutz, G. (2014). Composición química de la biomasa residual de la planta de piña variedad MD-2 proveniente de Guácimo, Limón. *Revista De Ciencia Y Tecnología*, 30(2), 27–34. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/cienciaytecnologia/article/view/20347/20496>
- Jaikel Víquez, J. y Ulate Brenes, A. (2021). Evaluación del efecto del pretratamiento del rastrojo de piña para la producción de hidrógeno vía reformado en fase acuosa (APR). *Ingeniería*, 31(2), 1–21. <https://www.redalyc.org/journal/441/44171828001/html/>
- Li, D., Jing, M., Dai, X., Chen, Z., Ma, C. y Chen, J. (2022). Current status of pineapple breeding, industrial development, and genetics in China. *Euphytica*, 218(6), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s10681-022-03030-y>
- López Herrera, M., WingChing Jones, R. y Rojas Bourrillón, A. (2014). Meta-análisis de los subproductos de piña (*Ananas comosus*) para la alimentación animal. *Agronomía Mesoamericana*, 25(2), 383–392. [https://www.produccion-animal.com.ar/tablas\\_composicion\\_alimentos/94-anana.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/tablas_composicion_alimentos/94-anana.pdf)
- Macía, M. J. (2006). *Las plantas de fibra*. Universidad Mayor de San Andrés. [https://www.researchgate.net/publication/259527906\\_Las\\_plantas\\_de\\_fibra](https://www.researchgate.net/publication/259527906_Las_plantas_de_fibra)
- Málaga Juárez, J. A. y Velásquez Ccosi, P. (2020). Obtención de fibra de rastrojo de la cosecha de piña (*Ananas comosus* L.) y su caracterización como alternativa para elaborar papel. *Investigación*, 28(223-229), 1. <https://revistas.unsch.edu.pe/index.php/investigacion/article/view/375/312>
- Maneeintr, K., Leewisuttikul, T., Kerdsuk, S. y Charinpanitkul, T. (2018). Hydrothermal and enzymatic treatments of pineapple waste for energy production. *Energy Procedia*, 152, 1260–1265. [https://www.researchgate.net/publication/328749857\\_Hydrothermal\\_and\\_enzymatic\\_treatments\\_of\\_pineapple\\_waste\\_for\\_energy\\_production](https://www.researchgate.net/publication/328749857_Hydrothermal_and_enzymatic_treatments_of_pineapple_waste_for_energy_production)
- Mendoza Cisneros, J. W., Velásquez Ccosi, P. F. y Gómez Gálvez, Y. (2020). Caracterización estructural, física y química de la fibra de rastrojo de la cosecha de piña (*Ananas comosus*) golden como alternativa para elaborar papel. *Ingeniería Investiga*, 2(2), 314–323. [https://www.researchgate.net/publication/348067744\\_Caracterizacion\\_estructural\\_fisica\\_y\\_quimica\\_de\\_la\\_fibra\\_de\\_rastrojo\\_de\\_la\\_cosecha\\_de\\_pina\\_ananas\\_comosus\\_golden\\_como\\_alternativa\\_para\\_elaborar\\_papel](https://www.researchgate.net/publication/348067744_Caracterizacion_estructural_fisica_y_quimica_de_la_fibra_de_rastrojo_de_la_cosecha_de_pina_ananas_comosus_golden_como_alternativa_para_elaborar_papel)
- Möller, J. (2014). *Comparación de los métodos para la determinación de fibra en pienso y en los alimentos*. [https://www.fossanalytics.com/-/media/files/documents/papers/feed-and-forage-segment/fibre-methods-compared\\_es.pdf](https://www.fossanalytics.com/-/media/files/documents/papers/feed-and-forage-segment/fibre-methods-compared_es.pdf)
- Nayan, N. H. M., Rahman, W. A. A. y Majid, R. A. (2014). The effect of mercerization process on the structural and morphological properties of Pineapple Leaf Fiber (PALF) pulp. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 10(1), 12–16. <https://mjfas.utm.my/index.php/mjfas/article/view/63/356>
- Pandit, P., Pandey, R., Singha, K., Shrivastava, S., Gupta, V. y Jose, S. (2020). Pineapple leaf Fibre: Cultivation and production, 1–20. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-1416-6\\_1](https://doi.org/10.1007/978-981-15-1416-6_1)

- Pérez Pérez, N. L., Linares Nima, L. M. y Pérez Huamán, B. D. (2023). Valorización de propiedades fisicoquímicas de residuos sólidos orgánicos alimentarios para la elaboración de compostaje. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 26(52). <https://doi.org/10.15381/iigeo.v26i52.24193>
- Ramírez Alfonso, S. M. y Reyes Nieto, M. C. (2017). *Aprovechamiento de residuos lignocelulósicos de la Ananas comosus (piña) para la producción de xilitol por hidrólisis enzimática* [Proyecto integral de grado]. Fundación Universidad de América, Colombia. <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6575/1/6122855-2017-2-IQ.pdf>
- Ravindran, R., Hassan, S. S., Williams, G. A. y Jaiswal, A. K. (2018). A review on bioconversion of agro-industrial wastes to industrially important enzymes. *Bioengineering*, 5(4), 93. <https://doi.org/10.3390/bioengineering5040093>
- Rodríguez Alfonso, D., Isidrón Pérez, M. y Menéndez Álvarez, E. (2019). Vista de Los recursos fitogenéticos de piña (*Ananas comosus* var. *comosus* (L.) Merr.) en Cuba. *Revista De Investigaciones De La Universidad De Le Cordon Bleu*, 6(2), 27–40. <https://revistas.ulcb.edu.pe/index.php/REVISTAULCB/article/view/155/270>
- Rozo Gélvez, S. M., González Laguado, A. Y. y Villamizar Loaiza, J. A. (2016). Elaboración de un papel ecológico a base de cogollos de piña. *Revista Nova*, 2(2), 50–55. <https://doi.org/10.23850/25004476.620>
- Sierra Londoño, S. C. (2015). *Cadena de valor de la hoja de piña, como ecofibra para producción artesanal en el campo textil y de moda*. Institución Universitaria Pascual Bravo, Colombia. [https://repositorio.pascualbravo.edu.co/bitstream/pascualbravo/727/1/Rep\\_IUPB\\_Dis\\_Tex\\_Pi%C3%B1a.pdf](https://repositorio.pascualbravo.edu.co/bitstream/pascualbravo/727/1/Rep_IUPB_Dis_Tex_Pi%C3%B1a.pdf)
- Silva Garcés, M. F. (2023). *Huella hídrica del cultivo de piña (Ananas comosus) y banano (Musa paradisiaca) de la empresa Dole Food Company en la zona norte de Honduras* [Proyecto especial de graduación]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/90f142dc-47de-4b24-b202-f6bcaf2b6756/content>
- Vargas Corredor, Y. A. y Pérez Pérez, L. I. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad De Ciencias Básicas*, 14(1), 59–72. <https://doi.org/10.18359/rfcb.3108>
- Vargas Masén, J., Rodríguez Mora, K., Jirón García, E. y Bernal Samaniego, C. (2023). Producción de nanocelulosa a partir de rastrojo de piña y raquis de palma africana. *Cuadernos De Investigación UNED*, 15(2). [https://www.researchgate.net/publication/374020497\\_Produccion\\_de\\_nanocelulosa\\_a\\_partir\\_de\\_rastrojo\\_de\\_pina\\_y\\_raquis\\_de\\_palma\\_africana](https://www.researchgate.net/publication/374020497_Produccion_de_nanocelulosa_a_partir_de_rastrojo_de_pina_y_raquis_de_palma_africana)
- Vargas Vargas, M. A., Hernández Chaverri, R. A. y Jiménez Silva, A. (2019). Caracterización de la biomasa de piña (*Ananas comosus*) y su valoración en la propagación micelial del hongo shiitake (*Lentinula edodes*). *Yülok Revista De Innovación Académica*, 3(1), 13–27. <https://repositorio.utn.ac.cr/server/api/core/bitstreams/46524dd0-88fa-4b4b-aba2-59edd4dc6645/content>

- Vasquez, D. (2024). *Tabla de salario mínimo y bono educativo 2024*. Secretaría de Trabajo y Seguridad Social. <https://www.trabajo.gob.hn/wp-content/uploads/2024/03/Tabla-de-Salario-Minimo-2024-y-Bono-Educativo-2024.pdf>
- Vega Rodríguez, M. C. y Hernández Chaverri, R. A. (2020). Crecimiento de *Trichoderma* en rastrojo de piña para obtener esporas para uso agrícola1. *Agronomía Mesoamericana*, 31(3), 597–608. <https://www.redalyc.org/journal/437/43764233006/html/>
- Zamudio Bravo, B. S. (2016). *Predicción de la composición química de rye grass mediante el uso de espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS)* [Tesis]. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/f3e21184-4423-411e-9ba0-177337acf56a/content>

## Anexos

### Anexo A

*Instrumento de entrevista semiestructura sobre la preevaluación del entorno para determinar la viabilidad del aprovechamiento del rastrojo de piña para la elaboración de productos en la empresa*

*AGROPOR, subsidiaria a la compañía Dole Food Company Inc.*

Entrevistador:

Fecha:

Nombre del entrevistado:

Puesto del entrevistado:

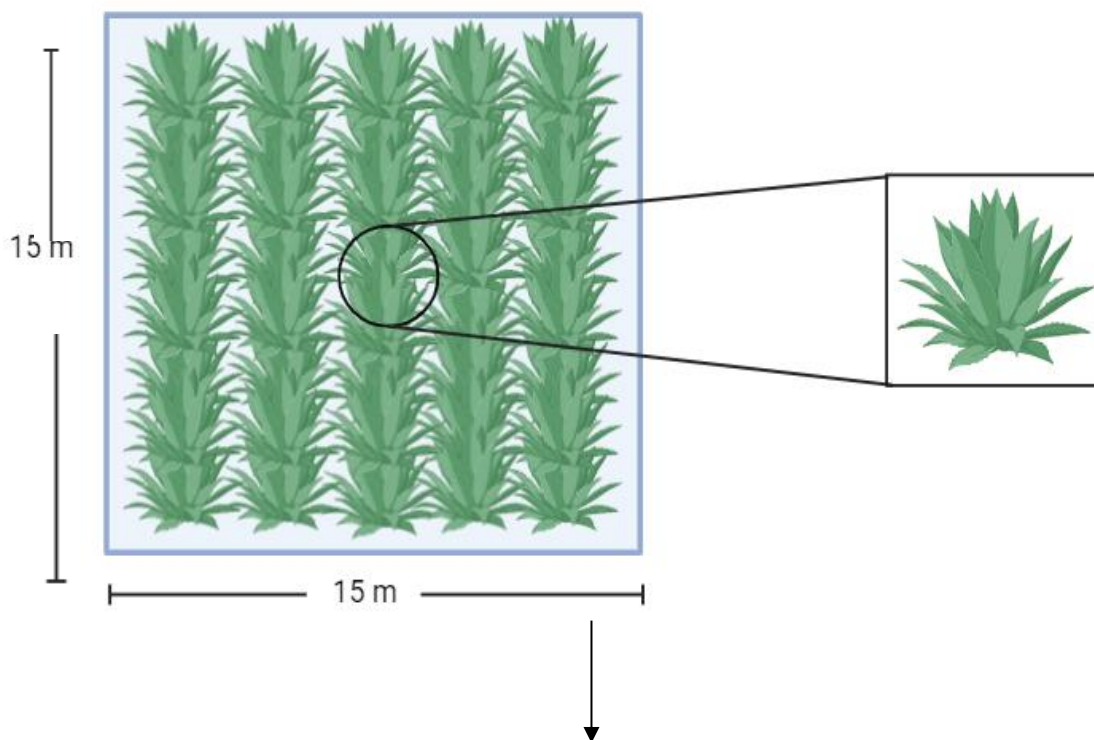
Preguntas de la entrevista:

1. ¿Por qué se motivaron para producir piña? ¿Cuándo la empresa inició la producción de piña?
2. ¿En dónde distribuye los productos de piña que produce Dole?
3. Explique la unidad productiva de AGROPOR
4. Explique cómo funcionan los ciclos productivos que manejan en la producción de piña:
5. ¿Cada cuánto se genera una parcela de residuo?
6. ¿Cuáles son las especies de piña que produce la empresa?
7. ¿Cuál es la densidad que manejan en la producción de piña? ¿Cuáles son las medidas?
8. ¿Cuántos lotes tiene la empresa para producción de piña?
9. ¿Cuál es el proceso de producción de piña, recursos requeridos, responsables, tiempo y residuos generados?
10. Explique las prácticas agrícolas que implementa en la finca para la producción de piña
11. Explique el proceso que se le da a los residuos provenientes de la producción de piña
12. ¿Cuáles certificaciones o permisos tienen la empresa para la producción de piña?
13. ¿La empresa ha realizado acciones para reducir su impacto negativo en el medio ambiente?  
¿Ha realizado medidas de prevención, mitigación o adaptación?
14. ¿Qué ha hecho la empresa para ser más eficiente en el uso de los recursos?



**Anexo C**

*Diseño del establecimiento de parcelas y cuantificación de rastrojo de piña en campo*

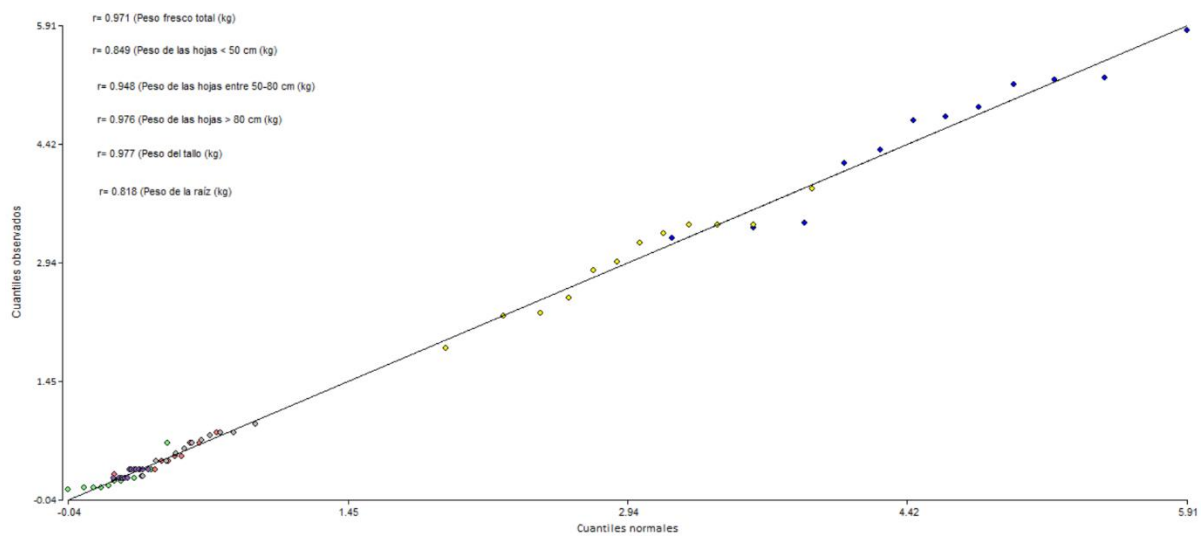


### Anexo D

*Prueba de Shapiro-Wilks y gráfico Q-Q plot para analizar la normalidad de los pesos del rastrojo de piña en campo*

Variable	n	Media	Desviación estándar	W*	p (una cola)
Peso fresco total (kg)	12	4.97	0.84	0.91	0.3293
Peso de hojas < 50 cm (kg)	12	0.23	0.16	0.76	0.002
Peso de hojas de 50-80 cm (kg)	12	0.48	0.17	0.87	0.1175
Peso de hojas > 80 cm (kg)	12	2.94	0.60	0.93	0.5608
Peso del tallo (kg)	12	0.60	0.22	0.92	0.4112
Peso de la raíz (kg)	12	0.29	0.006	0.60	<0.0001

Nota: n = unidades experimentales. W\* = estadístico de prueba de Shapiro-Wilks. Nivel de significancia  $p > 0.05$



### Anexo E

#### *Medidas de tendencia central y variabilidad en los datos de la parcela uno*

Variable	Media	Desviación estándar	Mediana	Varianza	Error muestral
Peso fresco total (kg)	4.97	0.84	4.89	0.47	0.48
Peso de hojas < 50 cm (kg)	0.29	0.34	0.11	0.07	0.19
Peso de hojas de 50-80 cm (kg)	0.55	0.23	0.51	0.04	0.13
Peso de hojas > 80 cm (kg)	3.26	0.69	3.41	0.32	0.40
Peso del tallo (kg)	0.53	0.35	0.45	0.08	0.20
Peso de la raíz (kg)	0.34	0.00	0.34	0.00	0.00

### Anexo F

#### *Medidas de tendencia central y variabilidad en los datos de la parcela dos*

Variable	Media	Desviación estándar	Mediana	Varianza	Error muestral
Peso fresco total (kg)	3.78	0.84	4.89	0.45	0.47
Peso de hojas < 50 cm (kg)	0.23	0.03	0.23	6.0E-04	0.02
Peso de hojas de 50-80 cm (kg)	0.28	0.12	0.34	0.01	0.07
Peso de hojas > 80 cm (kg)	2.37	0.54	2.30	0.32	0.40
Peso del tallo (kg)	0.53	0.27	0.54	0.05	0.16
Peso de la raíz (kg)	0.27	0.06	0.23	2.7E-03	0.04

### Anexo G

#### *Medidas de tendencia central y variabilidad en los datos de la parcela tres*

Variable	Media	Desviación estándar	Mediana	Varianza	Error muestral
Peso fresco total (kg)	4.76	0.41	4.77	0.11	0.24
Peso de hojas < 50 cm (kg)	0.18	0.06	0.20	2.6E-03	0.04
Peso de hojas de 50-80 cm (kg)	0.41	0.06	0.45	2.7E-03	0.04
Peso de hojas > 80 cm (kg)	3.18	0.30	3.30	0.06	0.17
Peso del tallo (kg)	0.72	0.11	0.77	0.01	0.06
Peso de la raíz (kg)	0.27	0.06	0.23	2.7E-03	0.04

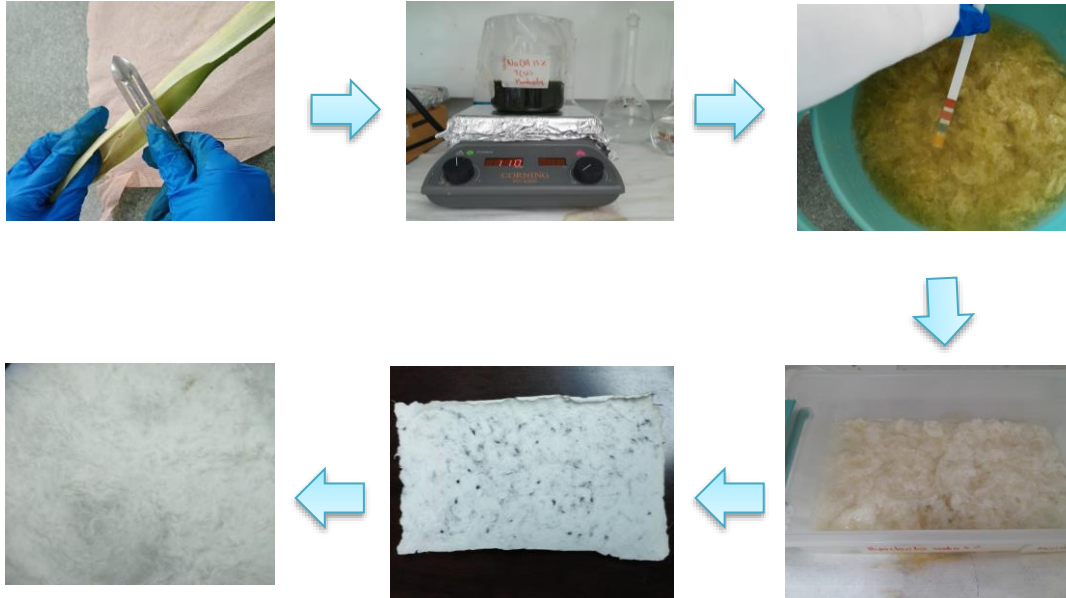
### Anexo H

#### *Medidas de tendencia central y variabilidad en los datos de la parcela cuatro*

Variable	Media	Desviación estándar	Mediana	Varianza	Error muestral
Peso fresco total (kg)	4.64	1.04	5.23	0.72	0.60
Peso de hojas < 50 cm (kg)	0.20	0.13	0.14	0.01	0.07
Peso de hojas de 50-80 cm (kg)	0.57	0.20	0.68	0.03	0.11
Peso de hojas > 80 cm (kg)	2.95	0.60	3.18	0.24	0.35
Peso del tallo (kg)	0.61	0.14	0.01	0.08	0.68
Peso de la raíz (kg)	0.30	0.06	0.34	2.7E-03	0.04

**Anexo I**

*Esquema del proceso de extracción manual y fisicoquímica de la fibra*



**Anexo J**

*Ecuación para la estimación de consumo energético*

$$kWh = potencia \times horas$$

### Anexo K

#### *Ecuaciones para la cuantificación de kilogramos de CO<sub>2eq</sub>*

$$kg\ CO_2\ eq/año = \frac{\text{Tonelada R}}{\text{Año}} \times \frac{1,000\ kg\ R}{\text{Tonelada R}} \times \frac{4\ g\ CH_4}{\text{Kilogramo R}} \times \frac{1\ kg\ CH_4}{1000\ g\ CH_4} \times \frac{28\ kg\ CO_{2eq}}{kg\ CH_4} \times \frac{1\ ton\ CO_{2eq}}{1000\ kg\ CO_{2eq}}$$

$$kg\ CO_2\ eq/año = \frac{\text{Tonelada R}}{\text{Año}} \times \frac{1,000\ kg\ R}{\text{Tonelada R}} \times \frac{0.3\ g\ N_2O}{\text{Kilogramo R}} \times \frac{1\ kg}{1000\ g} \times \frac{265\ kg\ CO_2}{1\ kg\ N_2O} \times \frac{1\ ton\ CO_{2eq}}{1000\ kg\ CO_2}$$

Donde:

R = Residuo