



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA
AGRICULTURA**

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

**TESIS DE TITULACION, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO AGROPECUARIA**

**TEMA: “ESTUDIO DE LA OBTENCIÓN DE PULPA CELULÓSICA A
PARTIR DE RESIDUOS VEGETATIVOS DE TRES VARIEDADES
DE PLATANO (*Musa paradisiaca* L.) PARA LA ELABORACIÓN DE
PAPEL BLANCO”.**

AUTOR: PONCE QUEZADA, GISSELA ESTEFANIA

DIRECTORA: Ph.D SANCHEZ LLAGUNO, SUNGEY NANEY

SANTO DOMINGO

2019



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

i

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y LA AGRICULTURA
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA SANTO DOMINGO

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “*ESTUDIO DE LA OBTENCIÓN DE PULPA CELULÓSICA A PARTIR DE RESIDUOS VEGETATIVOS DE TRES VARIEDADES DE PLATANO (Musa paradisiaca L.) PARA LA ELABORACIÓN DE PAPEL BLANCO*” fue realizado por la señorita *Ponce Quezada, Gissela Estefanía* el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Santo Domingo, 20 de mayo del 2019

Firma:

Sungey Naynee Sánchez Llaguno, Ph.D.

C.C 1205348673

Directora de Proyecto de Investigación



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y LA AGRICULTURA
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA SANTO DOMINGO

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, *Ponce Quezada, Gissela Estefanía*, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: *ESTUDIO DE LA OBTENCIÓN DE PULPA CELULÓSICA A PARTIR DE RESIDUOS VEGETATIVOS DE TRES VARIEDADES DE PLATANO (Musa paradisiaca L.) PARA LA ELABORACIÓN DE PAPEL BLANCO* es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Santo Domingo, 20 de mayo del 2019

Firma:

Gissela Estefanía Ponce Quezada

C.C 1718353020



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

iii

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y LA AGRICULTURA
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA SANTO DOMINGO

AUTORIZACIÓN

*Yo, **Ponce Quezada, Gissela Estefanía** autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **ESTUDIO DE LA OBTENCIÓN DE PULPA CELULÓSICA A PARTIR DE RESIDUOS VEGETATIVOS DE TRES VARIEDADES DE PLATANO (*Musa paradisiaca* L.) PARA LA ELABORACIÓN DE PAPEL BLANCO** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.*

Santo Domingo, 20 de mayo del 2019

Firma:

Gissela Estefania Ponce Quezada

C.C 1718353020

DEDICATORIA

Esta investigación está dedicada a Dios, por inspirarme y haberme dado fuerzas para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados, mi título.

A mis padres, Rubén y Glenda. Gracias por su amor, paciencia y sacrificio en todos estos años, por ustedes logré llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Es un orgullo y privilegio ser su hija.

A mi hermano Andrés, por estar conmigo en todo momento, gracias.

A toda mi familia por sus oraciones, consejos y mensajes de aliento.

Gracias, los amo.

Gissela.

AGRADECIMIENTO

Son muchas las personas que me han apoyado al proceso y culminación de esta investigación.

Primeramente quiero agradecer a la directora de este proyecto, la Doctora Sungey Sánchez, por creer en mí, me apoyo de manera personal e institucional y me alentó para que concluyera esta investigación.

De igual manera agradezco al Doctor Juan Neira, por su paciencia y enseñanzas en todas las fases de mi tesis, por cada detalle y momento dedicado para aclarar cualquier tipo de duda que surgiera.

Gracias a la vida por este nuevo triunfo, gracias a todas las personas que me apoyaron y creyeron en mí.

Gracias Dani.

Gissela.

INDICE DE CONTENIDOS

CARATULA	
CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
INDICE DE CONTENIDOS	vi
INDICE DE TABLAS	x
INDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPITULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos.....	3
1.1.1 Objetivo General.....	3
1.1.2 Objetivos Específicos	3
1.2 Hipótesis para el Factor A (Variedades).....	3
1.3 Hipótesis para el Factor B (Residuos)	4
1.4 Hipótesis para el factor C (Ciclos).....	4
CAPITULO II	5
2. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 El plátano en Ecuador	5
2.2 Morfología de la planta de plátano.	5
2.2.1 Tallo.....	5
2.2.2 Hojas	6
2.2.3 Flores	6
2.2.4 Fruto.....	6

2.3	Variedades	7
2.3.1	Barraganete	7
2.3.2	Dominico	7
2.3.3	Maqueño	8
2.4	El papel	8
2.5	Industria papelera.....	8
2.5.1	Estructura de la cadena productiva	9
2.6	Celulosa	10
2.6.1	Producción de celulosa de la planta de plátano	10
2.7	Extracción de pulpa celulósica	11
2.7.1	Pulpeado mecánico	11
2.7.2	Pulpeado químico	11
2.8	Lignina	12
2.9	Hidróxido de sodio.....	12
2.10	Peróxido de hidrogeno	13
2.11	Propiedades de la hoja de papel	13
CAPITULO III		14
3.	MATERIALES Y METODOS	14
3.1	Ubicación del área de investigación	14
3.1.1	Ubicación Política.....	14
3.1.2	Ubicación Ecológica	14
3.1.3	Ubicación Geográfica	15
3.2	MATERIALES	16
3.2.1	Elaboración de papel blanco	16
3.2.2	Determinación del espesor.....	16
3.2.3	Determinación de la resistencia al rasgado.....	16
3.2.5	Determinación de cenizas	16
3.2.5	Determinación de pH.....	17
3.2.7	Determinación de humedad	17
3.2.8	Determinación de fibra	17

3.3	MÉTODOS	18
3.3.1	Obtención de la Materia Prima	18
3.3.2	Elaboración de papel blanco	18
3.3.3	Diseño Experimental.....	20
3.3.3.1	Factores y niveles del experimento.....	20
3.3.3.2	Tratamientos a comparar	21
3.3.3.3	Tipo de diseño Experimental.....	22
3.3.3.4	Repeticiones.....	22
3.3.4	Análisis estadístico	22
3.3.4.1	Esquema de análisis de varianza.....	22
3.3.5	Variables a Medir.....	23
3.3.5.1	Determinación del espesor (mm).....	23
3.3.5.2	Determinación del gramaje (gr/m^2)	23
3.3.5.3	Determinación de la densidad aparente (g/cm^3)	23
3.3.5.4	Determinación del rendimiento (%)	24
3.3.5.5	Determinación de las cenizas (%).....	24
3.3.5.6	Determinación del pH.....	25
3.3.5.7	Determinación de la humedad (%)	25
3.3.5.8	Determinación de fibra (%)	26
3.3.5.9	Determinación del color del papel.....	28
3.3.5.10	Determinación de la rugosidad del papel.....	28
3.3.5.11	Determinación de la resistencia al rasgado (N)	29
	CAPITULO IV	30
4.	RESULTADOS	30
4.1	Análisis de varianza para la variable espesor	30
4.2	Análisis de varianza para la variable Gramaje.....	30
4.3	Análisis de varianza para la variable Densidad aparente.....	31
4.4	Análisis de varianza para la variable Rendimiento.....	31
4.5	Análisis de varianza para la variable Resistencia al Rasgado.....	32
4.6	Análisis de varianza para la variable Ceniza	32

4.7	Análisis de varianza para la variable pH	33
4.8	Análisis de varianza para la variable Humedad.....	33
4.9	Análisis de varianza para la variable Fibra	34
4.10	Análisis de varianza para la variable Color	34
4.11	Análisis de varianza para la variable Rugosidad	35
4.12	Prueba de significancia de Tukey del estudio de tres variedades de plátano para extraer pulpa celulósica.....	36
4.14	Prueba de significancia de Tukey del comportamiento de hojas, pseudotallo y raquis de plátano en el proceso de obtener celulosa de óptima calidad.	40
4.15	Prueba de significancia de Tukey del estudio del efecto en la etapa de blanqueamiento que ocasiona el proceso y reproceso realizado a la pulpa celulósica.....	44
4.16	Prueba de significancia de Tukey de la interacción AxBxC del estudio del proceso de obtención de pulpa celulósica a partir de residuos vegetativos de tres variedades de plátano como materia prima en la elaboración de papel blanco.	48
CAPITULO V		52
5.	DISCUSIÓN	52
5.1.	Con respecto a las variedades (Factor A)	52
5.2.	Con respecto a los residuos (Factor B)	55
5.3.	Con respecto al ciclo (Factor C)	57
5.4.	Con respecto a la interacción (AxBxC)	58
CAPITULO VI.....		61
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
6.1.	Conclusiones.....	61
Factor A (Variedades).....		61
Factor B (Residuos).....		62
Factor C (Ciclo).....		62
Interacción A*B*C.....		63
6.2.	Recomendaciones.	64
BIBLIOGRAFIA.....		65

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	<i>Contenido de fibra en las partes vegetativas de plátano</i>	10
Tabla 2.	<i>Propiedades de la hoja de papel.....</i>	13
Tabla 3.	<i>Recursos necesarios para la elaboración de papel blanco a partir de residuos vegetativos de tres variedades de plátano (Musa paradisiaca L.) como materia prima</i>	16
Tabla 4.	<i>Recursos para determinar el espesor del papel.....</i>	16
Tabla 5.	<i>Recursos para determinar la resistencia al rasgado del papel</i>	16
Tabla 6.	<i>Recursos para determinar las cenizas del papel</i>	16
Tabla 7.	<i>Recursos necesarios para determinar el pH del papel.....</i>	17
Tabla 8.	<i>Recursos para determinar la humedad del papel</i>	17
Tabla 9.	<i>Recursos para determinar la fibra del papel</i>	17
Tabla 10.	<i>Factores y niveles a probar en el estudio de la obtención de pulpa celulósica a partir de residuos vegetativos de tres variedades de plátano (Musa paradisiaca L.) para la elaboración de papel blanco.</i>	20
Tabla 11.	<i>Tratamientos a comparar en el estudio de la obtención de pulpa celulósica a partir de residuos vegetativos de tres variedades de plátano (Musa paradisiaca L.) para la elaboración de papel blanco.</i>	21
Tabla 12.	<i>Esquema del análisis de varianza del estudio de la obtención de pulpa celulósica a partir de residuos vegetativos de tres variedades de plátano (Musa paradisiaca L.) para la elaboración de papel blanco.....</i>	22
Tabla 13.	<i>Escala Colorimétrica para determinar la variable color</i>	28
Tabla 14.	<i>Escala de textura para determinar la rugosidad color.....</i>	29
Tabla 15.	<i>Análisis de varianza para la variable espesor</i>	30
Tabla 16.	<i>Análisis de varianza para la variable gramaje</i>	30
Tabla 17.	<i>Análisis de varianza para la variable densidad aparente.....</i>	31
Tabla 18.	<i>Análisis de varianza para la variable rendimiento</i>	31
Tabla 19.	<i>Análisis de varianza para la variable Resistencia al rasgado</i>	32
Tabla 20.	<i>Análisis de varianza para la variable ceniza</i>	32

Tabla 21.	<i>Análisis de varianza para la variable pH</i>	33
Tabla 22.	<i>Análisis de varianza para la variable humedad.</i>	33
Tabla 23.	<i>Análisis de varianza para la variable fibra.</i>	34
Tabla 24.	<i>Análisis de varianza para la variable color</i>	34
Tabla 25.	<i>Análisis de varianza para la variable rugosidad</i>	35
Tabla 26.	<i>Resultados de las variables físicas del estudio de tres variedades de plátano para extraer pulpa celulósica (Tukey $P>0,05$).</i>	36
Tabla 27.	<i>Resultados de las variables químicas del estudio de tres variedades de plátano para extraer pulpa celulósica (Tukey $P>0,05$).</i>	36
Tabla 28.	<i>Resultados de las variables ópticas del estudio de tres variedades de plátano para extraer pulpa celulósica (Tukey $P>0,05$).</i>	36
Tabla 29.	<i>Resultados de las variables físicas del comportamiento de hojas, pseudotallo y raquis de plátano en el proceso de obtener celulosa (Tukey $P>0,05$).</i>	40
Tabla 30.	<i>Resultados de las variables químicas del comportamiento de hojas, pseudotallo y raquis de plátano en el proceso de obtener celulosa (Tukey $P>0,05$).</i>	40
Tabla 31.	<i>Resultados de las variables ópticas del comportamiento de hojas, pseudotallo y raquis de plátano en el proceso de obtener celulosa (Tukey $P>0,05$).</i>	40
Tabla 32.	<i>Resultados de las variables físicas del estudio del efecto en la etapa de blanqueamiento que ocasiona el proceso y reproceso realizado a la pulpa celulósica (Tukey $P>0,05$).</i>	44
Tabla 33.	<i>Resultados de las variables químicas del estudio del efecto en la etapa de blanqueamiento que ocasiona el proceso y reproceso realizado a la pulpa celulósica (Tukey $P>0,05$).</i>	44
Tabla 34.	<i>Resultados de las variables ópticas del estudio del efecto en la etapa de blanqueamiento que ocasiona el proceso y reproceso realizado a la pulpa celulósica (Tukey $P>0,05$).</i>	44
Tabla 35.	<i>Prueba de significancia de Tukey de la interacción $AxBxC$, variables físicas.</i>	48
Tabla 36.	<i>Prueba de significancia de Tukey de la interacción $AxBxC$, variables químicas.</i>	50
Tabla 37.	<i>Prueba de significancia de Tukey de la interacción $AxBxC$, variables ópticas.</i>	51

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Ubicación geográfica donde se desarrollará la investigación	15
<i>Figura 2.</i> Efecto del estudio de tres variedades de plátano (Factor A) sobre las variables físicas.	37
<i>Figura 3.</i> Efecto del estudio de tres variedades de plátano (Factor A) sobre las variables químicas.	38
<i>Figura 4.</i> Efecto del estudio de tres variedades de plátano (Factor A) sobre las variables ópticas.	39
<i>Figura 5.</i> Efecto del estudio de hojas, pseudotallo y raquis de plátano (Factor B) sobre las variables físicas	41
<i>Figura 6.</i> Efecto del estudio de hojas, pseudotallo y raquis de plátano (Factor B) sobre las variables químicas	42
<i>Figura 7.</i> Efecto del estudio de hojas, pseudotallo y raquis de plátano (Factor B) sobre las variables ópticas	43
<i>Figura 8.</i> Efecto del estudio en la etapa de blanqueamiento que ocasiona el proceso y reproceso (Factor C) sobre las variables físicas.....	45
<i>Figura 9.</i> Efecto del estudio en la etapa de blanqueamiento que ocasiona el proceso y reproceso (Factor C) sobre las variables químicas	46
<i>Figura 10.</i> Efecto del estudio en la etapa de blanqueamiento que ocasiona el proceso y reproceso (Factor C) sobre las variables ópticas.....	47

RESUMEN

La investigación tuvo el objetivo de estudiar el proceso de obtención de pulpa celulósica a partir de residuos vegetativos de tres variedades de plátano como materia prima en la elaboración de papel blanco, Ecuador es un productor de plátanos a escala mundial pero los residuos que se generan de esta actividad tienen poca participación en la industria y no son procesados o reciclados adecuadamente; desperdiciando así enormes cantidades de celulosa. El diseño experimental que se utilizó fue un esquema trifactorial (Variedades: Barraganete, Dominico y Maqueño; Residuos: Hojas, Raquis, Pseudotallo; Ciclos: Proceso y Reproceso) en un D.B.C.A. conformado por 18 tratamientos con 3 repeticiones. En total se elaboró 54 hojas de papel de plátano tamaño A4 evaluando las variables físicas (Peso, Espesor, Gramaje, Volumen, Rendimiento y Resistencia al rasgado), químicas (Cenizas, pH, Humedad y Fibra), Ópticas (Color y Rugosidad). Como resultado, según el análisis estadístico con la prueba de Tukey ($P > 0,05$), se obtuvo que la interacción Maqueño-Hojas-Proceso presentó el mayor rendimiento 38,27%; espesor 5mm; gramaje 2325,28 g/m²; resistencia al rasgado 114,33 N; Humedad 6,75%; mientras que la interacción Dominico-Tallo-Reproceso obtuvo la mejor densidad aparente 0,53 g/cm³; coloración Beige Perla y textura Ligeramente Liso. No hubo diferencia significativa para cenizas y fibras.

PALABRAS CLAVE

- **PLÁTANO**
- **CELULOSA**
- **PAPEL**
- **VARIEDADES**
- **RESIDUOS**

ABSTRACT

The present investigation had the objective of studying the process of obtaining cellulose pulp from vegetative residues of three banana varieties as a raw material in the production of white paper because Ecuador is a producer of bananas worldwide, but the waste generated from this activity has little participation in the industry and are not correctly recycled, wasting huge amounts of cellulose. The experimental design that was used was a trifactorial scheme (Varieties: Barraganete, Dominico and Maqueño; Residues: Leaves, Spine, Stem; Cycles: Process and Reprocess) in a D.B.C.A. conformed by 18 treatments with 3 repetitions. In total, 54 sheets of size A4 paper of banana were produced, evaluating the physical variables (Weight, Thickness, Grammage, Volume, Performance and Tear Resistance), variables Chemicals (Ashes, pH, Moisture and Fiber), and variables Optical (Color and Roughness). As a result, according to the statistical analysis with the Tukey test ($P > 0.05$), it was obtained that the Maqueño-Leaves-Process interaction presented the highest performance 38.27%; 5mm thickness; grammage 2325.28 g/m²; tear resistance 114.33 N; humidity 6.75%. The Dominico-Stem-Reprocess interaction obtained the best apparent density 0.53 g/cm³; Beige Pearl color and texture Slightly smooth. There was no significant difference for ashes and fibers.

KEYWORDS

- **BANANA**
- **CELLULOSE**
- **PAPER**
- **VARIETIES**
- **RESIDUES**

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

La industria de producción de papel se encuentra en el primero lugar del ranking en utilización de recursos naturales generando contaminantes (Greenpeace, 2006). Las autoridades estatales en el Ecuador penalizan la tala indiscriminada de árboles para la producción de papel ya que causa la pérdida del entorno ambiental, la disminución de bosques tropicales y la destrucción de ecosistemas enteros (Cedeño Barahona & Nieves Condoy, 2015) lo que conlleva al aumento de interés en la reutilización de fibras no maderables como fuente de materia prima para la industria papelera (Calle Estrada, 2014).

Ecuador aporta cerca del 10% de la producción mundial de plátanos (Jepröll , 2009), los residuos que generan este cultivo tienen una composición química de lignina en 9-10% que junto con un 61,1% de celulosa, lo convierten en una opción favorable para la fabricación de papel (Calle Estrada, 2014).

Por su gran importancia económica el Ecuador cuenta con una alta producción de este cultivo, por lo tanto, existen en el país muchas empresas plataneras que producen una gran cantidad de residuos vegetales. La revista RETEMA (2016) en su sitio web determina que Ecuador cuenta con 224 137 hectáreas dedicadas al cultivo de plátanos, Palmira (2017) explica que por cada hectárea de plátano cultivada se generan 220 toneladas de residuos, siendo un recurso natural no explotado eficientemente.

En la cosecha se corta la planta para desprender el racimo, dejando el tallo y las hojas como desechos agrícolas. Una vez que el racimo ha llegado a la planta de empaquetado se genera otro residuo, el raquis del racimo. La mala utilización de estos residuos produce contaminación de suelos, aguas subterráneas, proliferación de bacterias y enfermedades por que se descomponen abiertamente sin ningún control (Haro-Velastegui, 2017).

Cerca del 95% de los residuos que se generan del cultivo no son aprovechados eficientemente por el cultivador, considerados como desechos, desperdiciando grandes cantidades de celulosa y no existe el procesamiento industrial para este material orgánico (Reinoso, 2009). El pseudotallo y raquis generan entre 5,5 y 12% en peso de fibra mecánica de celulosa, por lo tanto se desecha entre 1 925 y 8 250 kg/ha (Grisales Meneses & Giraldo Mejia, 2004), pudiendo obtenerse hasta 15 subproductos y darles un valor agregado por su contenido de celulosa, convirtiéndose en una alternativa viable y sostenible para la producción de papel, además de generar ingresos, brindando una solución amigable con el medio ambiente.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

Estudiar el proceso de obtención de pulpa celulósica a partir de residuos vegetativos de tres variedades de plátano (*Musa paradisiaca* L.) como materia prima en la elaboración de papel blanco, en la zona de Santo Domingo de los Tsáchilas.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Evaluar tres variedades de plátano para extraer pulpa celulósica las cuales cumplan con los estándares de calidad requeridos para la elaboración del papel blanco.
- Comparar el comportamiento de las hojas, pseudotallo y raquis de plátano en el proceso de obtener celulosa de óptima calidad.
- Determinar el efecto en la etapa de blanqueamiento que ocasione el proceso y reproceso realizado a la pulpa celulósica.

1.2 Hipótesis para el Factor A (Variedades)

Ha: Las variedades de plátano estudiadas afectan la calidad de la pulpa celulósica a obtener (variedades: Barraganete, Maqueño, Dominico).

Ho: Las variedades de plátano estudiadas no afectan la calidad de la pulpa celulósica a obtener (variedades: Barraganete, Maqueño, Dominico).

1.3 Hipótesis para el Factor B (Residuos)

Ha: Los tipos de residuos estudiados producen la misma cantidad de pulpa celulósica (Hojas, Pseudotallo y Raquis).

Ho: Los tipos de residuos estudiados no producen la misma cantidad de pulpa celulósica (Hojas, Pseudotallo y Raquis).

1.4 Hipótesis para el factor C (Ciclos)

Ha: Los ciclos de blanqueo dados a la pulpa celulósica influyen en el proceso de obtención del papel blanco (Proceso – Reproceso).

Ho: Los ciclos de blanqueo dados a la pulpa celulósica no influyen en el proceso de obtención del papel blanco (Proceso – Reproceso).

CAPITULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 El plátano en Ecuador

El Ecuador produce importantes rubros agrícolas, uno de los más significativos es el plátano en sus distintas variedades, este producto tiene una gran versatilidad para ser transformado en la industria y muy apetecido por los consumidores (Paz & Pesantez, 2013).

El cultivo del plátano en el Ecuador para consumo interno, tiene su producción principalmente en la región subtropical y tropical del país. Se cultivada principalmente, en Guayas, Los Ríos, Manabí, El Oro y Santo Domingo de los Tsáchilas. Además, en las estribaciones de la Cordillera de los Andes, en las provincias de Azuay, Cotopaxi, Bolívar, Cañar, Loja y Pichincha (El Comercio, 2011).

2.2 Morfología de la planta de plátano.

Musa paradisiaca es una planta botánicamente denominada como herbácea, descrita por primera vez por Linneo en 1753. Perteneciente a la familia de las Musáceas (Hernández & Vit, 2009). Es una planta herbácea perenne, pues tras la producción del fruto mueren sus partes aéreas y éstas son reemplazadas por nuevos retoños creciendo desde su base (Solis, 2007).

2.2.1 Tallo

El tallo verdadero es subterráneo sobresaliendo solo del suelo en la época de floración, denominado bulbo o cormo (Orozco Collaguazo & Picón Moreno, 2011). El pseudotallo es un falso tallo denominado así porque se parece a un tronco pero está conformado por un conjunto de

vainas foliares superpuestas, es muy carnoso y está conformado principalmente por agua, aunque es realmente fuerte ya que soporta racimos de 50 kg o más (Vézina, 2016).

2.2.2 Hojas

Sus hojas son grandes, dispuestas en espiral pudiendo alcanzar entre 2 a 4 metros de largo con un ancho de medio metro, su peciolo con una longitud de 1 metro o más y su limbo elíptico alargado un poco ondulado y glabro (Orozco Collaguazo & Picón Moreno, 2011).

2.2.3 Flores

La planta posee una inflorescencia sumamente compleja, dispuestas en hélice a lo largo del eje, semejante al de su sistema foliar. Los grupos de flores están cubiertos por cada bráctea, ubicadas en dos filas en pares llamadas “manos”. Las flores son hermafroditas, pero sólo las primeras que se dejan ver después del repliegue de las brácteas son denominadas hembra y darán origen al fruto, las sobrantes son dominados masculinos o intermedia (Solis, 2007).

2.2.4 Fruto

Su fruto es oblongo, mientras se desarrollan los frutos se doblan geotrópicamente y su peso provoca doblez del pedúnculo determinando la forma del racimo. Los plátanos son polimórficos siendo un conjunto entre 5 a 20 manos, a la vez estas manos poseen de 2 a 20 frutos. Los frutos poseen un color amarillo verdoso, amarillo, amarillo-rojizo o rojo, los frutos comestibles con partenocarpia vegetativa (Orozco Collaguazo & Picón Moreno, 2011).

2.3 Variedades

En el Ecuador se pueden encontrar algunas variedades importantes de plátano verde, destacadas encontramos al barraganete, maqueño y dominico.

Según (Paz & Pesantez, 2013) las características de estas variedades son:

2.3.1 Barraganete

- Mayor producción en época de invierno
- Mejores precios en épocas secas.
- Variedad de mayor exportación del Ecuador
- Se exporta a Europa y EEUU
- Largo de la fruta 22 y 30 cm
- Ancho de la fruta 2 a 5 cm
- Dedos 22 a 44 por mano.

2.3.2 Dominico

- Adquirió su nombre por quien lo introdujo a América (Fraile de la orden de Santo Domingo)
- Largo de la fruta 22 a 30 cm
- Ancho de la fruta 2 a 4 cm
- Aproximadamente 23 dedos por mano
- Sabor en crudo muy amargo, requiere cocción para que se torne blando, suave y mantecoso.

- Uso potencial en la gastronomía y sus hojas son aprovechadas en la cocción de platos típicos.

2.3.3 Maqueño

- Destinado al consumo interno
- Mayor cantidad de dedos por mano
- Largo de la fruta 20 y 25 cm • Ancho de la fruta 2 a 4 cm
- Aspecto regordete, piel rosada, pulpa pegajosa y dulce
- Utilizada en la industria para elaborar “snack”

2.4 El papel

El papel es un tejido de fibras vegetales alto en celulosa refinada y tratada en agua antes de ser colocada sobre un tamiz y secada. El papel y sus productos semejantes son elaborados a partir de fibras de celulosa contenida en las plantas. Estas fibras pueden originarse de distintos vegetales: algodón, madera, caña de azúcar, etc., aunque principalmente la mayor parte de la producción a nivel mundial del papel proviene de la madera con cerca de un 89% de la producción total, por lo que sólo un 11% se fabrica a partir de otras fibras. Fabricar una tonelada de papel virgen demanda de unas 2 a 3,5 toneladas de árboles para ser procesadas en una planta de celulosa (Greenpeace, 2006).

2.5 Industria papelera

La producción de pasta, papel y derivados llega a cifras que sitúan a esta industria entre las más grandes a nivel mundial. La fuente más utilizada de fibra para la producción de pasta ha sido

a partir de la madera originaria de los bosques de coníferas, a pesar de que ha aumentado la utilización de bosques tropicales y boreales. Las regiones forestales generalmente poseen una baja densidad poblacional, por lo tanto tiende a producirse en el mundo una dicotomía entre las zonas de producción y las de utilización (Teschke & Demers, 2001). Una de las principales causas de la tala de árboles es la industria papelera y su consecuencia es el aumento de la deforestación a escala mundial y, sobre todo, en los países más pobres (ABCColor, 2003).

2.5.1 Estructura de la cadena productiva

La cadena empieza con la explotación de la madera que es la materia prima para la obtención de pulpa química, también es utilizado el bagazo de caña de azúcar, la madera es mezclada con químicos dependiendo el proceso de extracción y cocinada bajo presión para obtener pulpa sin blanquear utilizando comúnmente peróxido de hidrógeno y/o dióxido de cloro. Después se refinan las fibras y se las traslada al tanque de almacenamiento donde posteriormente pasaran al molino. La estructura de las fibras (cortas o largas, vírgenes o recicladas) depende del uso que se vaya a dar a cada material y los requisitos de resistencia que deba cumplir. En el proceso de fabricación de papel, la pulpa es disuelta en agua con una concentración menor al 10% agregando las sustancias químicas (caolines, colorantes, etc.) requeridas para el tipo de papel que se desea fabricar. La pulpa una vez que se haya disuelta pasa a la formación del papel por capas, una vez finalizado este proceso se procede a extraer el agua en una malla o fieltro y finalmente pasa a los secadores de cilindros para luego ser enrollado (Departamento Nacional Planeacion, 2004).

2.6 Celulosa

La celulosa es producida y contenida en las plantas, siendo este el polímero primordial estructural del mundo vegetal. Se localiza en las paredes celulares de las plantas junto a la lignina y a otras sustancias como las resinas. Su función es semejante a las proteínas en los animales que componen huesos, músculos, etc. (Salvatore, 2006).

La celulosa está conformada por una extensa cadena de carbohidratos polisacáridos. Su estructura se forma a partir de la unión de moléculas de β -glucosa a través de enlaces β -1,4-glucosídico, haciéndola insoluble en agua. Su estructura es lineal o fibrosa estableciéndose múltiples puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de diferentes cadenas yuxtapuestas de glucosa, haciéndolas muy resistentes e insolubles al agua, Originándose fibras compactas constituyendo la pared celular de las células vegetales, dándoles rigidez (Badui Dergal, 2016).

2.6.1 Producción de celulosa de la planta de plátano

Tabla 1. *Contenido de fibra en las partes vegetativas de plátano*

Partes de la planta	Peso/kgs	Rendimiento/ha	Disponibilidad fibra seca kg/ha
Cormo	9,00	11997,00	776,27
Pseudotallo	70,42	93869,86	6073,93
Hojas	5,98	7971,34	515,79
Raquis	1,44	1919,52	124,20
Frutos	16,56	22074,48	1428,34
Total planta	103,40	137832,20	8918,55

Densidad de siembra 1333 plantas por hectárea.

Fuente:(Grisales Meneses & Giraldo Mejía, 2004)

2.7 Extracción de pulpa celulósica

Cuando se fabrica papel, es necesario aislar las fibras de celulosa que se encuentran fuertemente unidas por lignina, que es un adherente resinoso que aporta con el apoyo estructural al árbol, para producir la pasta o pulpa (Greenpeace, 2006). En la actualidad existen tres procedimientos para la obtención de pasta de madera como materia prima obteniendo: La pasta mecánica, la pasta química y la pasta mixta (pasta semi-química o química-mecánica).

2.7.1 Pulpeado mecánico

Esta pasta mecánica se produce al triturar la madera contra una piedra o entre placas metálicas con la finalidad de separar las fibras. La labor de las máquinas fraccionan estas fibras de celulosa, obteniendo una pasta más débil que la separada químicamente. La lignina que une la celulosa a la hemicelulosa no se disuelve, solo se ablanda, por lo que permite que las fibras se asienten fuera de la estructura de la madera (Teschke & Demers, 2001). La calidad de esta pasta mecánica es menor y se usa primordialmente para diarios o guías telefónicas, su fibras pueden ser recicladas de tres a cuatro veces (Greenpeace, 2006).

2.7.2 Pulpeado químico

Esta pasta se obtiene sometiendo la madera con sustancias químicas. La pasta química se produce al disolver químicamente la lignina contenida entre las fibras de la madera, separándose sin dañarse de forma sustancial. En este proceso se eliminan muchos de los componentes no fibrosos de la madera con rendimientos entre el 40 al 55 % (Teschke & Demers, 2001). Los reactivos empleados pueden ser ácidos (bisulfito de calcio, magnesio, amonio o sodio) o alcalinos

(sulfato de sodio, cal, proceso Kraft), siendo las técnicas con sulfato y bisulfito las más utilizadas.

2.8 Lignina

El polímero natural orgánico más abundante en el mundo vegetal (después de los polisacáridos). Forma parte de las paredes celulares de un vegetal confiriendo resistencia y rigidez; su comportamiento se asemeja como un cemento entre las fibras celulósicas. También actúa protegiendo la celulosa frente a enzimas de celulasa, que degradan y disminuyen la permeabilidad de las paredes celulares de las plantas (A De Lera, 2011).

Según (A De Lera, 2011) en la fabricación del papel se pretende eliminar lo máximo posible la lignina por diferentes motivos:

- Para dejar libre la celulosa de la madera.
- Porque las moléculas de lignina no facilitan la formación de puentes de hidrógeno, lo que confiere resistencia mecánica de un papel.
- Es un compuesto muy inestable que acidifica, amarillea y fragiliza el papel.

2.9 Hidróxido de sodio

También conocida como sosa caustica. Es una sustancia fabricada, que a temperatura ambiente es sólido de color blanco cristalino, inodoro y absorbe la humedad del aire. Disuelto en agua o neutralizado con un ácido libera gran cantidad de calor que es capaz de encender materiales combustibles. Es una sustancia corrosiva, usada usualmente en forma sólida o en solución al 50%. El hidróxido de sodio se utiliza para elaborar jabones, rayón, papel, explosivos,

tinturas y productos de petróleo. Además se emplea en el procesamiento de textiles de algodón, lavandería y blanqueado, revestimiento de óxidos, galvanoplastia y extracción electrolítica (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2016).

2.10 Peróxido de hidrogeno

También conocido como agua oxigenada es un líquido que no posee color a temperatura ambiente además de un sabor amargo. Es una sustancia inestable que se descompone de forma rápida a oxígeno y agua liberando calor. A pesar de no ser inflamable, puede llegar a causar combustión espontánea al contacto con materia orgánica ya que es un agente oxidante. Lo encontramos en concentraciones bajas entre 3 al 9% en varios productos de uso doméstico o medicinal. Industrialmente se usa en concentraciones muy altas como blanqueador de telas y papel (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2016).

2.11 Propiedades de la hoja de papel

Tabla 2. *Propiedades de la hoja de papel.*

Físicas	Químicas	Ópticas
Peso	Acidez total	Brillo
Resistencia a la tensión	pH	Color
Resistencia a la explosión	Cenizas	Opacidad
Resistencia al rasgado	Almidón	Lustre
Dureza	Humedad	Transparencia
Rigidez		
Resistencia al plegado		
Lisura		
Densidad		
Calibre		

Fuente: (Laqui, 2017)

CAPITULO III

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Ubicación del área de investigación

3.1.1 Ubicación Política

País:	Ecuador
Provincia:	Santo Domingo de los Tsáchilas
Cantón:	Santo Domingo
Parroquia:	Luz de América
Sector:	km 35 Vía Quevedo

3.1.2 Ubicación Ecológica

Zona de vida:	Bosque húmedo Tropical
Altitud:	224 msnm
Temperatura media:	24,6 ° C
Precipitación:	2860 mm año
Humedad relativa:	85%
Heliofanía:	739 horas luz año
Suelos:	Francos Arenoso

Fuente: Estación Agro Meteorológica “Puerto Ila” Vía Quevedo km 34

3.1.3 Ubicación Geográfica

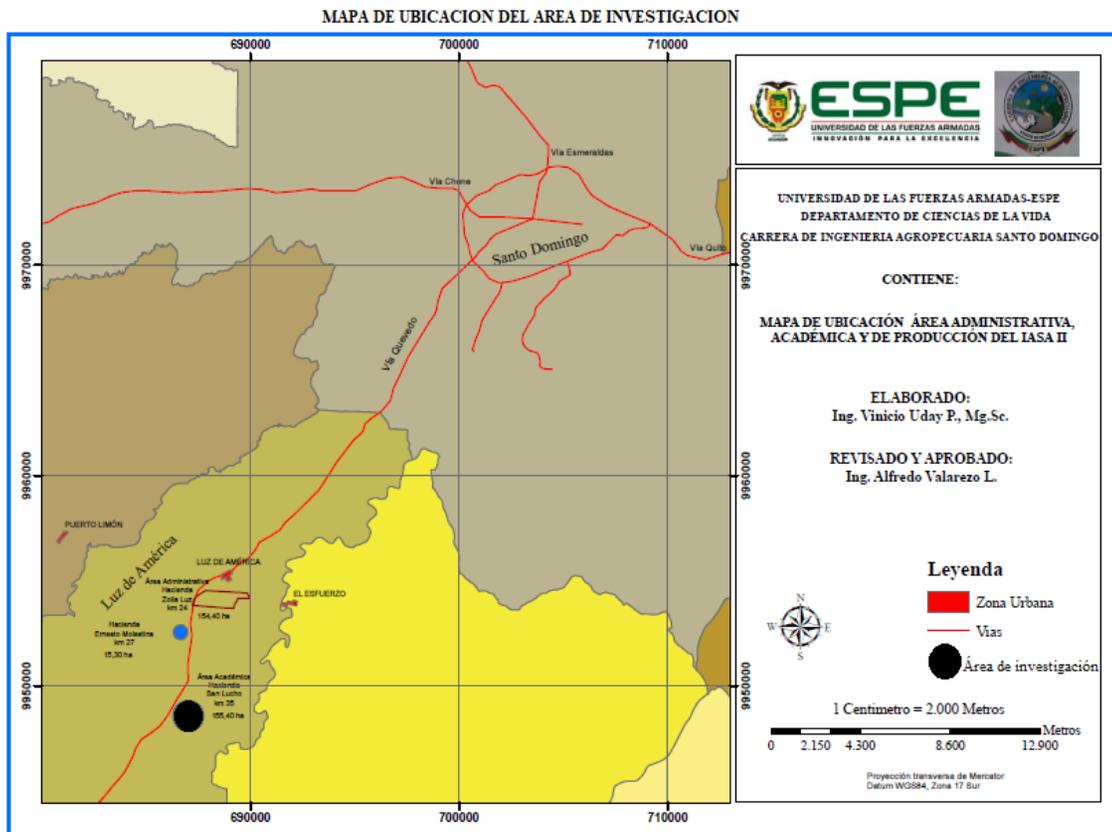


Figura 1. Ubicación geográfica donde se desarrollará la investigación

Latitud: 00° 24' 36"

Longitud: 79° 18' 43"

Altitud: 270 msnm

3.2 MATERIALES

3.2.1 Elaboración de papel blanco

Tabla 3. *Recursos necesarios para la elaboración de papel blanco a partir de residuos vegetativos de tres variedades de plátano (*Musa paradisiaca L.*) como materia prima*

Equipos	Materiales	Reactivos	Muestras
Licuadaora	Guantes	Hidróxido de sodio	Hojas de plátano
Estufa Memmert	Mascarilla	Peróxido de hidrogeno 30%	Raquis de plátano
Baño maría	Recipientes de plástico	Agua destilada	Pseudotallo de plátano
Balanza eléctrica	Tamiz		
	Vaso de precipitación 1lt.		
	Bastidor rectangular		
	Prensa		

3.2.2 Determinación del espesor

Tabla 4. *Recursos para determinar el espesor del papel*

Equipos	Muestras
Micrómetro	Papel elaborado con residuos de plátano

3.2.3 Determinación de la resistencia al rasgado

Tabla 5. *Recursos para determinar la resistencia al rasgado del papel*

Equipos	Muestras
Dinamómetro 100 N	Papel elaborado con residuos de plátano
Balanza de resorte	

3.2.5 Determinación de cenizas

Tabla 6. *Recursos para determinar las cenizas del papel*

Equipos	Materiales	Muestras
Estufa	Crisesos	Papel elaborado con residuos de plátano
Mufla	Cocineta eléctrica	

 Desecador

CONTINUA

3.2.5 Determinación de pH

Tabla 7. *Recursos necesarios para determinar el pH del papel*

Equipos	Materiales	Muestras
Potenciómetro	Vaso de precipitación de 50 ml Agua destilada	Papel elaborado con residuos de plátano

3.2.7 Determinación de humedad

Tabla 8. *Recursos para determinar la humedad del papel*

Equipos	Materiales	Muestras
Estufa	Cajas Petri	Papel elaborado con residuos de plátano
Balanza analítica		
Desecador		

3.2.8 Determinación de fibra

Tabla 9. *Recursos para determinar la fibra del papel*

Equipos	Materiales	Reactivos	Muestras
Equipo Dosi-Fiber	Fibra de vidrio	Ácido sulfúrico	Papel elaborado con residuos de
Balanza analítica	Guantes	Hidróxido de	plátano
bomba de vacío	Mascarillas	potasio	
Estufa	Matraz quitasato	Antiespumante	
Mufla	Crisesos porosos	Acetona	
Desecador			

3.3 MÉTODOS

3.3.1 Obtención de la Materia Prima

Para la obtención de las muestras se recolectó hojas, raquis y pseudotallos de las tres variedades de plátano que no presentaron ninguna alteración en su estructura, estos residuos vegetativos fueron producto de la cosecha.

De las hojas adultas recolectadas no se procedió a retirar el peciolo ni la nervadura central, ya que se usó la hoja tal cual la cortan. En cuanto al pseudotallo fue extraído de la planta madre que fue cortado. Posteriormente se recolectó el raquis que queda como residuo de la cosecha tras desprender las manos de plátano.

Las muestras fueron pesadas hasta completar 2 Kilos por tratamiento, lavadas, desinfectadas y cortadas previo al almacenamiento que fue en fundas plásticas transparentes correctamente etiquetadas antes de someterlas al secado, usando las estufas de los laboratorios de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE ubicado en el km 35 de la vía Santo Domingo – Quevedo.

3.3.2 **Elaboración de papel blanco**

- **Secado:** Después de que se obtuvo la materia prima, se realizó el proceso de secado en una estufa Memmert por un tiempo de 48 horas con una temperatura de 60°C, 2 kg por muestra, con la finalidad de obtener materia prima de bajo porcentaje de humedad.
- **Molienda:** Utilizando una licuadora, se realizó este proceso con el propósito de obtener partículas pequeñas de la materia prima ya seca.

- **Cocción:** Se preparó la solución de hidróxido de sodio (NaOH) a una concentración de 0,5 molar sumergiendo la materia prima en envases plásticos herméticos para posterior ser sometidos a baño maría a una temperatura de 90°C controlándola con un termómetro y manteniendo dentro de un rango de +/- 5°C durante el tiempo de una hora.
- **1er Reposo:** Durante 8 días se dejó reposar la materia prima sumergida con la solución de hidróxido de sodio en los envases herméticos sin presencia de oxígeno.
- **1er Tamizado:** Mediante un tamiz se separó la fibra del licor negro que se generó en la cocción.
- **1er Lavado:** Se lavó la fibra con agua destilada hasta eliminar la mayor cantidad de licor negro hasta que el agua residual quedó transparente.
- **Blanqueo:** La fibra lavada fue sumergida en peróxido de hidrogeno a una concentración del 30%.
- **2do Reposo:** La fibra sumergida en peróxido de hidrogeno se dejó reposar durante 24 horas
- **2do Tamizado:** Mediante un tamiz se hizo la remoción de la mayor cantidad de peróxido de hidrogeno al 30% sumergido en la fibra.
- **2do Lavado:** Se volvió a lavar la fibra con agua destilada hasta eliminar la mayor cantidad de peróxido de hidrogeno al 30% hasta que el agua residual quedó transparente.
- **Moldeado:** Con un bastidor rectangular con dimensión interna de un formato A4 se procedió al moldeado de la fibra.
- **Prensado:** Se utilizó una prensa pequeña manual de madera para eliminar la mayor cantidad de agua contenida en la hoja de papel, se prensó durante 24 horas.

- **Secado:** Se colocó la prensa pequeña en la estufa Memmert a una temperatura de 60°C durante el tiempo de 48 horas, para que la hoja de papel no se deformara.
- **Hoja de papel:** Se obtuvo la hoja de papel elaborada de residuos de plátano.

3.3.3 Diseño Experimental

3.3.3.1 Factores y niveles del experimento

Tabla 10. *Factores y niveles a probar en el estudio de la obtención de pulpa celulósica a partir de residuos vegetativos de tres variedades de plátano (*Musa paradisiaca* L.) para la elaboración de papel blanco.*

Factores	Niveles
Variedades de plátano (V)	v1= Barraganete
	v2= Maqueño
	v3= Dominicó
Residuos de cosecha (R)	r1= Hojas
	r2= Raquis
	r3= Pseudotallo
Ciclos (C)	c1= Proceso
	c2= Reproceso

3.3.3.2 Tratamientos a comparar

Tabla 11. *Tratamientos a comparar en el estudio de la obtención de pulpa celulósica a partir de residuos vegetativos de tres variedades de plátano (Musa paradisiaca L.) para la elaboración de papel blanco.*

Tratamiento	Tratamientos	Descripción
T1	v1r1c1	Barraganete + Hojas + Proceso
T2	v2r1c1	Maqueño + Hojas + Proceso
T3	v3r1c1	Dominico + Hojas + Proceso
T4	v1r2c1	Barraganete + Raquis + Proceso
T5	v2r2c1	Maqueño + Raquis + Proceso
T6	v3r2c1	Dominico + Raquis + Proceso
T7	v1r3c1	Barraganete + Tallo + Proceso
T8	v2r3c1	Maqueño + Tallo + Proceso
T9	v3r3c1	Dominico + Tallo + Proceso
T10	v1r1c2	Barraganete + Hojas + Reproceso
T11	v2r1c2	Maqueño + Hojas + Reproceso
T12	v3r1c2	Dominico + Hojas + Reproceso
T13	v1r2c2	Barraganete + Raquis + Reproceso
T14	v2r2c2	Maqueño + Raquis + Reproceso
T15	v3r2c2	Dominico + Raquis + Reproceso
T16	v1r3c2	Barraganete + Tallo + Reproceso
T17	v2r3c2	Maqueño + Tallo + Reproceso
T18	v3r3c2	Dominico + Tallo + Reproceso

3.3.3.3 Tipo de diseño Experimental

El diseño experimental que se utilizó fue un esquema trifactorial (AxBxC) en un D.B.C.A.

3.3.3.4 Repeticiones

Conformado por 18 tratamientos, los cuales presentan 3 repeticiones, con un total de 54 unidades experimentales.

3.3.4 Análisis estadístico

3.3.4.1 Esquema de análisis de varianza

Tabla 12. *Esquema del análisis de varianza del estudio de la obtención de pulpa celulósica a partir de residuos vegetativos de tres variedades de plátano (*Musa paradisiaca* L.) para la elaboración de papel blanco.*

Fuentes de Variación		Grados de Libertad
Variedades (V)	v-1	2
Residuos (R)	r-1	2
Ciclos (C)	c-1	1
VxR	(v-1)(r-1)	4
VxC	(v-1)(c-1)	2
RxC	(r-1)(c-1)	2
VxRxC	(v-1)(r-1)(c-1)	4
Bloque	b-1	2
Error Experimental	vrc(n-1)	35
Total		54

3.3.4.2 Análisis funcional

Se realizó la prueba de significancia de Tukey al 5 %.

3.3.5 Variables a Medir

3.3.5.1 Determinación del espesor (mm)

Se utilizó el método sugerido por Casey (1990).

- Se midió el espesor del papel al realizar una lectura directa utilizando un micrómetro, se tomó datos de cada uno de los cuatro lados de la hoja para sacar un promedio.

3.3.5.2 Determinación del gramaje (g/m²)

Es el peso en gramos que corresponde a un m² de papel.

El gramaje del papel obtenido se calculó con el método físico citado por Casey (1990).

- Se dispuso de muestras rectangulares de dimensión conocida: 10cm*12cm.
- Se procedió a calcular el área de la superficie en m²: 0,012 m²
- Se pesó las muestras de papel

Formula:

$$\text{Gramaje} = \frac{\text{Masa}}{\text{Area}} = \text{g/m}^2$$

3.3.5.3 Determinación de la densidad aparente (g/cm³)

Posiblemente la propiedad fundamental más importante ya que da a conocer información sobre la estructura de la hoja, influye en todas las propiedades ópticas y físicas, excepto el peso base, también afecta la absorción y la facilidad para ser impreso.

Casey (1991) determina que la densidad se expresa en gramos por centímetro cubico, y se calcula dividiendo el peso en gramos por metro cuadrado entre el espesor en micras.

Formula:

$$D = \frac{\text{Gramaje (g/m}^2\text{)}}{\text{Espesor del papel(micras)}} = \text{g/cm}^3$$

3.3.5.4 Determinación del rendimiento (%)

- Para el rendimiento del papel se pesó la materia prima secada en la estufa y después se pesó la hoja de papel ya seca.

Formula:

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Peso final del papel}}{\text{Peso de materia seca}} \times 100$$

3.3.5.5 Determinación de las cenizas (%)

Esta prueba se realizó con referencia al procedimiento según (Kirk, Sawyer, & Egan, 1996).

- Se colocó a peso constante un crisol 2 horas aproximadamente en la mufla a 600° C.
- Se pesó 2 g de muestra en el crisol pesado. (La muestra no debe sobrepasar la mitad del crisol)
- Se calcinó la muestra en una parrilla hasta que la muestra no desprenda humo.
- Posteriormente se metió a la mufla 2 horas cuidando que la temperatura no pase de 550°C.
- Se retiró de la mufla y se dejó enfriar en el desecador.
- Se pesó tan pronto como se equilibre con la temperatura ambiente.
- Calcular el porcentaje de cenizas por gravimetría

Formula:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{C3 - C1}{C2 - C1} \times 100$$

Dónde:

C1= masa del crisol vacío en gramos.

C2= masa del crisol con la muestra en gramos.

C3= masa del crisol con las cenizas en gramos.

3.3.5.6 Determinación del pH

Se tomó como referencia según la norma UNIT-ISO 6588:1998

- Se procedió a evaluar el pH de la hoja de papel utilizando un potenciómetro digital.
- Se colocó en un vaso de precipitación 3 gramos de muestra de papel con 30 ml de agua destilada hervida y enfriada
- Se mezcló suavemente.
- Se determinó el pH por lectura directa, introduciendo el electrodo del potenciómetro en el vaso de precipitación que contiene la muestra.

3.3.5.7 Determinación de la humedad (%)

Esta prueba se realizó en base al procedimiento según (Nielsen, 1998).

- Se pesó de 2 g de muestra en cajas Petri (previamente pesado después de tenerlo a peso constante 2 h a 130° C)
- Se secó las muestras en la estufa 2 h a 90° C.
- Se dejó enfriar en el desecador
- Se pesó tan pronto como se equilibre con la temperatura ambiente.

Formula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{m1 - m2}{m1 - m} \times 100$$

Donde:

m = Masa del frasco vacío en gramos

m1 = Masa del frasco con la muestra antes del secado en gramos

m2 = Masa del frasco con la muestra después del secado en gramos

3.3.5.8 Determinación de fibra (%)

Se tomó como referencia según la norma NTE INEN-ISO 6865

- Se pesó 1,5 g de muestra y se hizo con la muestra pequeños pedazos.
- Se los coloco en un crisol poroso, pesado anteriormente
- Se introdujo los crisoles en el Disi-Fiber

Hidrolisis acida en caliente:

- Se aseguraron las válvulas, las mismas que debían están en posición cerrada
- Se añadió 100- 150 ml de H₂SO₄ caliente en cada columna y 10 gotas de antiespumante (Octanol)
- Se abrió los circuitos de refrigeración y se activó las resistencias calefactoras (potencial 90%)
- Se esperó a que hierva, luego se redujó el potencial al 30% y se dejó hervir durante un tiempo de extracción de 30 minutos.

- Para la calefacción se abrió el circuito de vacío y se colocó los mandos en posición de adsorción, posteriormente se lavó con agua destilada caliente, se repitió este proceso tres veces.

Hidrolisis básica en caliente

- Los mismo pasos anteriores pero utilizando NAOH (1ml a razón del 16%, en 1 lt de agua).

Extracción en frio con acetona

- Se preparó el “Kitasato”, con las trompas de vacío, se situó el crisol en la entrada del kitasato, y se agregó acetona, a la vez que el circuito de vacío está adsorbiendo hacia el frasco, se debe repetir esto tres veces.
- Se puso a secar la muestra en la estufa a 150 °C por 1 hora.
- Se dejó enfriar en el desecador
- Se pesó los crisoles
- Se incineró la muestra de los crisoles en el Horno de mufla a 500 °C durante un tiempo de 3 Horas.
- Se dejó enfriar en el desecador
- Se volvió a pesar los crisoles

Formula:

$$\%de\ fibra\ bruta = \frac{W1 - W2}{W0} * 100$$

Donde:

WO= Peso de la muestra

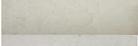
W1= Peso del crisol + muestra seca

W2= Peso del crisol + muestra calcinada.

3.3.5.9 Determinación del color del papel

Se estableció un protocolo (Anexo 11) que consiste en una escala colorimétrica basado en las propias tonalidades resultantes de papel, en la cual, a través de una evaluación sensorial a 10 participantes, se determinó el color del papel elaborado de plátano. El método utilizado fue el óptico (López J. , 2007).

Tabla 13. *Escala Colorimétrica para determinar la variable color*

Color		
Calificación	Descripción	Ejemplo
1	Arena	
2	Arena claro	
3	Ligeramente Arena claro	
4	Ligeramente Beige Perla	
5	Beige Perla	
6	Beige	

3.3.5.10 Determinación de la rugosidad del papel

Se estableció un protocolo (Anexo 12) que consiste en una escala de textura basada en las texturas resultantes, en la cual, a través de una evaluación sensorial a 10 participantes, se determinó la rugosidad del papel elaborado de plátano. El método utilizado fue el óptico y el de fricción de la superficie de papel al tacto.

Tabla 14. *Escala de textura para determinar la rugosidad color*

TEXTURA	
Calificación	Descripción
1	Muy rugoso
2	Rugoso
3	Ligeramente Rugoso
4	Ligeramente Liso
5	Liso
6	Muy Liso

3.3.5.11 Determinación de la resistencia al rasgado (N)

Esta variable es una de las principales propiedades, el papel requiere poseer resistencia para poder soportar al tratamiento de uso cotidiano que se le dará al producto, a pesar de que estas actividades no requieran de gran resistencia, el papel debe estar en capacidad de soportar el proceso de producción.

- Se utilizaron muestras de papel de medidas conocidas: 10cm*10cm.
- En cada lado se realizó una perforación a la misma distancia.
- Se dispuso el papel en un tensiómetro de 100 N y se prosiguió a aplicar una fuerza en dirección contraria hasta que el papel cediera rasgándose por completo.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS

4.1 Análisis de varianza para la variable espesor

Tabla 15. *Análisis de varianza para la variable espesor*

Fuente de variación	Suma Cuadrados	de Grados de libertad	de Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Variedad	4,78499	2	2,3925	22,40	0,0000*
B:Parte Vegetativa	80,6292	2	40,3146	377,44	0,0000*
C:Ciclos	4,47782	1	4,47782	41,92	0,0000*
Repetición	0,376493	2	0,188246	1,76	0,1869
AB	0,832452	4	0,208113	1,95	0,1249
AC	0,698548	2	0,349274	3,27	0,0502
BC	1,25994	2	0,629969	5,90	0,0063*
ABC	0,422074	4	0,105519	0,99	0,4273
Error	3,63157	34	0,106811		
Total	97,1131	53			
Coefficiente de variación	14,02				

En la tabla 15 de análisis de varianza, se puede apreciar diferencia significativa en: Factor A (Variedad), Factor B (Parte vegetativa), Factor C (Ciclos) e interacción B*C. Mientras que en: Repetición e interacciones A*B, A*C y A*B*C no se encontró diferencia significativa.

4.2 Análisis de varianza para la variable Gramaje

Tabla 16. *Análisis de varianza para la variable gramaje*

Fuente de variación	Suma Cuadrados	de Grados de libertad	de Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Variedad	919638,	2	459819,	18,54	0,0000*
B:Parte Vegetativa	2,03201E7	2	1,016E7	409,75	0,0000*
C:Ciclos	752801,	1	752801,	30,36	0,0000*
Repetición	47023,7	2	23511,8	0,95	0,3974
AB	701265,	4	175316,	7,07	0,0003*
AC	97500,1	2	48750,1	1,97	0,1556
BC	275809,	2	137904,	5,56	0,0081*
ABC	54836,2	4	13709,0	0,55	0,6982
Error	843049,	34	24795,6		
Total	2,4012E7	53			
Coefficiente de variación	16,17				

En la tabla 16 de análisis de varianza, se puede apreciar diferencia significativa en: Factor A (Variedad), Factor B (Parte vegetativa), Factor C (Ciclos) e interacciones A*B y B*C. Mientras que en: Repetición e interacciones A*C y A*B*C no se encontró diferencia significativa.

4.3 Análisis de varianza para la variable Densidad aparente

Tabla 17. *Análisis de varianza para la variable densidad aparente*

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Variedad	0,0175264	2	0,00876321	6,66	0,0036
B:Parte Vegetativa	0,119088	2	0,059544	45,26	0,0000
C:Ciclos	0,000536786	1	0,000536786	0,41	0,5273
Repetición	0,0022527	2	0,00112635	0,86	0,4338
AB	0,056814	4	0,0142035	10,80	0,0000
AC	0,0115818	2	0,00579088	4,40	0,0200
BC	0,000291035	2	0,000145518	0,11	0,8956
ABC	0,0233131	4	0,00582826	4,43	0,0055
Error	0,0447333	34	0,00131568		
Total	0,276137	53			
Coefficiente de variación	8,95				

En la tabla 17 de análisis de varianza, se puede apreciar diferencia significativa en: Factor A (Variedad), Factor B (Parte vegetativa), e interacciones A*B, A*C y A*B*C. Mientras que en: Factor C (Ciclos), Repetición e interacción B*C no se encontró diferencia significativa.

4.4 Análisis de varianza para la variable Rendimiento

Tabla 18. *Análisis de varianza para la variable rendimiento*

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	de Grados de libertad	de Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Variedad	685,625	2	342,813	46,73	0,0000*
B:Parte Vegetativa	1278,1	2	639,048	87,12	0,0000*
C:Ciclos	679,581	1	679,581	92,64	0,0000*
Repetición	1,16523	2	0,582613	0,08	0,9238
AB	30,8262	4	7,70654	1,05	0,3958
AC	50,325	2	25,1625	3,43	0,0440*
BC	108,184	2	54,0922	7,37	0,0022*
ABC	57,6551	4	14,4138	1,96	0,1222
Error	249,405	34	7,33544		
Total	3140,86	53			
Coefficiente de variación	11,01				

En la tabla 18 de análisis de varianza, se puede apreciar diferencia significativa en: Factor A (Variedad), Factor B (Parte vegetativa), Factor C (Ciclos) e interacciones A*C y B*C. Mientras que en: Repetición e interacciones A*B y A*B*C no se encontró diferencia significativa.

4.5 Análisis de varianza para la variable Resistencia al Rasgado

Tabla 19. *Análisis de varianza para la variable Resistencia al rasgado*

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	de Grados libertad	de Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Variedad	561,189	2	280,594	0,71	0,4989
B:Parte Vegetativa	27027,2	2	13513,6	34,18	0,0000*
C:Ciclos	834,26	1	834,26	2,11	0,1555
Repetición	499,319	2	249,659	0,63	0,5379
AB	568,203	4	142,051	0,36	0,8358
AC	1267,6	2	633,802	1,60	0,2161
BC	4600,88	2	2300,44	5,82	0,0067*
ABC	2383,53	4	595,882	1,51	0,2220
Error	13442,3	34	395,361		
Total	51184,5	53			
Coefficiente de variación	45,27				

En la tabla 19 de análisis de varianza, se puede apreciar diferencia significativa en: Factor B (Parte vegetativa) e interacción B*C. Mientras que en: Factor A (Variedad), Factor C (Ciclos), Repetición e interacciones A*B, A*C y A*B*C no se encontró diferencia significativa.

4.6 Análisis de varianza para la variable Ceniza

Tabla 20. *Análisis de varianza para la variable ceniza*

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	de Grados libertad	de Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Variedad	5,02778	2	2,51389	1,30	0,2869
B:Parte Vegetativa	28,8611	2	14,4306	7,44	0,0021*
C:Ciclos	6,33796	1	6,33796	3,27	0,0796
Repetición	2,69444	2	1,34722	0,69	0,5064
AB	5,02778	4	1,25694	0,65	0,6323
AC	3,06481	2	1,53241	0,79	0,4621
BC	1,28704	2	0,643519	0,33	0,7200
ABC	21,9352	4	5,4838	2,83	0,0398*
Error	65,9722	34	1,94036		
Total	140,208	53			
Coefficiente de variación	60,42				

En la tabla 20 de análisis de varianza, se puede apreciar diferencia significativa en: Factor B (Parte vegetativa) e interacción A*B*C. Mientras que en: Factor A (Variedad), Factor C (Ciclos), Repetición e interacciones A*B, A*C y B*C no se encontró diferencia significativa.

4.7 Análisis de varianza para la variable pH

Tabla 21. *Análisis de varianza para la variable pH*

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	de Grados libertad	de Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Variedad	0,2748	2	0,1374	5,12	0,0114*
B:Parte Vegetativa	0,648933	2	0,324467	12,09	0,0001*
C:Ciclos	0,000416667	1	0,000416667	0,02	0,9016
Repetición	0,0143444	2	0,00717222	0,27	0,7671
AB	0,313667	4	0,0784167	2,92	0,0352*
AC	0,0968444	2	0,0484222	1,80	0,1800
BC	0,101911	2	0,0509556	1,90	0,1653
ABC	0,319778	4	0,0799444	2,98	0,0328*
Error	0,912589	34	0,0268408		
Total	2,68328	53			
Coefficiente de variación	2,87				

En la tabla 21 de análisis de varianza, se puede apreciar diferencia significativa en: Factor A (Variedad), Factor B (Parte vegetativa) e interacción A*B. Mientras que en: Factor C (Ciclos), Repetición e interacciones A*C y B*C no se encontró diferencia significativa.

4.8 Análisis de varianza para la variable Humedad

Tabla 22. *Análisis de varianza para la variable humedad.*

Fuente De Variación	Suma De Cuadrados	Grados Libertad	de Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Variedad	8,86343	2	4,43171	2,58	0,0906
B:Parte Vegetativa	8,6412	2	4,3206	2,51	0,0958
C:Ciclo	0,612269	1	0,612269	0,36	0,5545
D:Repeticion	2,37731	2	1,18866	0,69	0,5076
AB	7,85185	4	1,96296	1,14	0,3532
AC	7,50231	2	3,75116	2,18	0,1282
BC	4,19676	2	2,09838	1,22	0,3074
ABC	17,1574	4	4,28935	2,50	0,0610
Error	58,4144	34	1,71807		
Total	115,617	53			
Coefficiente De Variación	13,53				

En la tabla 22 de análisis de varianza, se puede apreciar que en todas sus fuentes de variación no existe diferencia significativa.

4.9 Análisis de varianza para la variable Fibra

Tabla 23. *Análisis de varianza para la variable fibra.*

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	de Grados libertad	de Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Variedad	505,588	2	252,794	2,61	0,0885
B:Parte Vegetativa	434,067	2	217,034	2,24	0,1222
C:Ciclos	1859,34	1	1859,34	19,17	0,0001*
Repetición	445,457	2	222,728	2,30	0,1161
AB	312,777	4	78,1942	0,81	0,5299
AC	294,675	2	147,337	1,52	0,2334
BC	169,238	2	84,6188	0,87	0,4271
ABC	28,2038	4	7,05095	0,07	0,9899
Error	3298,13	34	97,0039		
Total	7347,48	53			
Coefficiente de variación	15,01				

En la tabla 23 de análisis de varianza, se puede apreciar diferencia significativa en: Factor C (Ciclos). Mientras que en: Factor A (Variedad), Factor B (Parte vegetativa), Repetición e interacciones A*B, A*C, B*C y A*B*C no se encontró diferencia significativa.

4.10 Análisis de varianza para la variable Color

Tabla 24. *Análisis de varianza para la variable color*

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	de Grados libertad	de Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Variedad	5,24593	2	2,62296	12,48	0,0001*
B:Parte Vegetativa	12,6515	2	6,32574	30,10	0,0000*
C:Ciclos	41,0817	1	41,0817	195,45	0,0000*
Repetición	0,393704	2	0,196852	0,94	0,4019
AB	3,78741	4	0,946852	4,50	0,0050*
AC	1,01333	2	0,506667	2,41	0,1049
BC	2,00111	2	1,00056	4,76	0,0150*
ABC	3,16222	4	0,790556	3,76	0,0123*
Error	7,1463	34	0,210185		
Total	76,4831	53			
Coefficiente de variación	11,36				

En la tabla 24 de análisis de varianza, se puede apreciar diferencia significativa en: Factor A (Variedad), Factor B (Parte vegetativa), Factor C (Ciclos) e interacciones A*B, B*C y A*B*C. Mientras que en: Repetición e interacción A*C no se encontró diferencia significativa.

4.11 Análisis de varianza para la variable Rugosidad

Tabla 25. *Análisis de varianza para la variable rugosidad*

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	de Grados libertad	de Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Variedad	5,85148	2	2,92574	27,03	0,0000*
B:Parte Vegetativa	15,6026	2	7,8013	72,08	0,0000*
C:Ciclos	0,54	1	0,54	4,99	0,0322*
Repetición	0,127037	2	0,0635185	0,59	0,5616
AB	0,626296	4	0,156574	1,45	0,2400
AC	2,35444	2	1,17722	10,88	0,0002*
BC	0,0433333	2	0,0216667	0,20	0,8195
ABC	1,02556	4	0,256389	2,37	0,0720
Error	3,67963	34	0,108224		
Total	29,8504	53			
Coefficiente de variación	11,12				

En la tabla 25 de análisis de varianza, se puede apreciar diferencia significativa en: Factor A (Variedad), Factor B (Parte vegetativa), Factor C (Ciclos) e interacción A*C. Mientras que en: Repetición e interacciones A*B, B*C y A*B*C no se encontró diferencia significativa.

4.12 Prueba de significancia de Tukey del estudio de tres variedades de plátano para extraer pulpa celulósica.

Tabla 26. Resultados de las variables físicas del estudio de tres variedades de plátano para extraer pulpa celulósica (Tukey $P>0,05$).

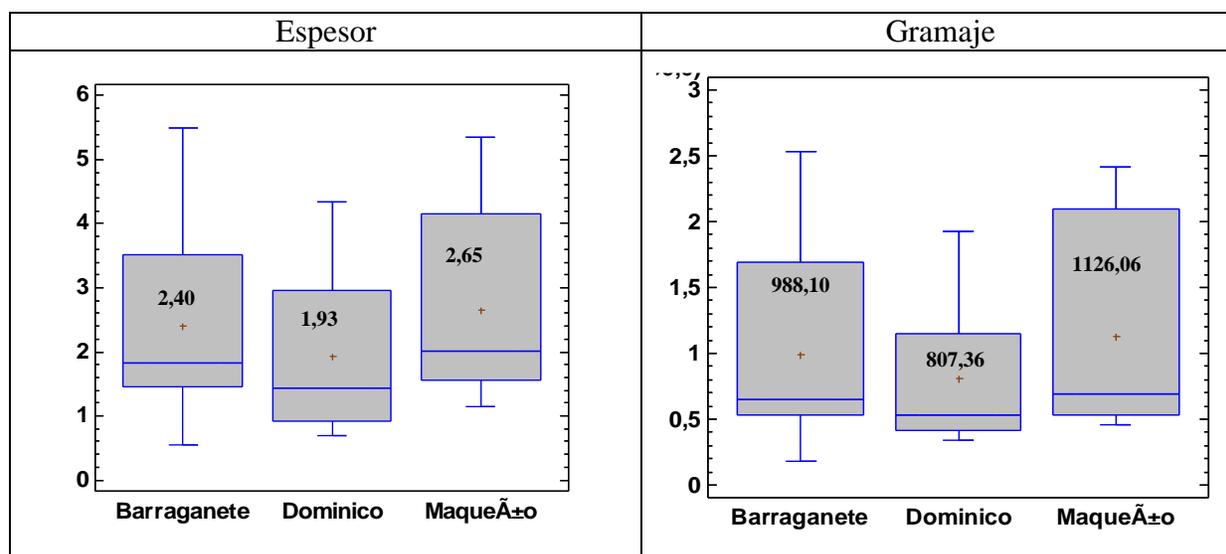
Factor A	Espesor	Gramaje	Densidad Ap.	Rendimiento	Resistencia al Rasgado
V1 Barraganete	2,40±0,07(B)	988,10±37,11(B)	0,38±0,008(A)	24,63±0,63(B)	39,86±4,68(A)
V2 Maqueño	2,65±0,07(B)	1126,06±37,11(C)	0,39±0,008(A)	28,93±0,63(C)	47,75±4,68(A)
V3 Dominico	1,93±0,07(A)	807,36±37,11(A)	0,42±0,008(B)	20,20±0,63(A)	44,15±4,68(A)

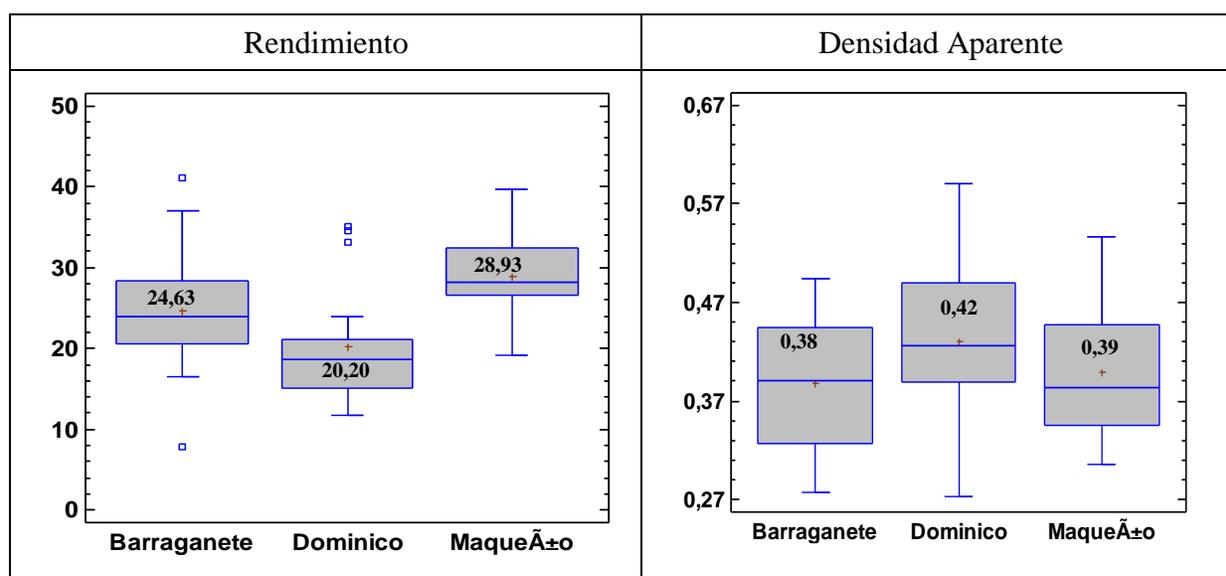
Tabla 27. Resultados de las variables químicas del estudio de tres variedades de plátano para extraer pulpa celulósica (Tukey $P>0,05$).

Factor A	Ceniza	pH	Humedad	Fibra
V1 Barraganete	2,72±0,32 (A)	5,60±0,03 (A)	10,25±0,30 (A)	61,37±2,32 (A)
V2 Maqueño	2,0±0,32 (A)	5,72±0,03 (AB)	9,51±0,30 (A)	68,47±2,32 (A)
V3 Dominico	2,19±0,32 (A)	5,77±0,03 (B)	9,30±0,30 (A)	67,0±2,32 (A)

Tabla 28. Resultados de las variables ópticas del estudio de tres variedades de plátano para extraer pulpa celulósica (Tukey $P>0,05$).

Factor A	Color	Rugosidad
V1 Barraganete	3,59±0,10 (A)	2,52±0,07 (A)
V2 Maqueño	4,26±0,10 (B)	3,03±0,07 (B)
V3 Dominico	4,25±0,10 (B)	3,31±0,07 (C)





CONTINUA

Figura 2. Efecto del estudio de tres variedades de plátano (Factor A) sobre las variables físicas.

La figura 2 presenta los resultados de las variables físicas que tuvieron diferencia significativa en el estudio de tres variedades de plátano (Factor A) para obtener pulpa celulósica.

Respecto a Espesor se observó dos grupos independientes, el valor más alto fue del grupo B: Maqueño 2,65 mm y Barraganete 2,40 mm, frente al grupo A: Dominico 1,93 mm con el valor más bajo.

En Gramaje se obtuvo tres grupos independientes, Maqueño 1126,06 g/m² (Grupo C) con el valor más alto, seguido de Barraganete 988,10 g/m² (Grupo B) y el valor más bajo Dominico 807,36 g/m² (grupo A).

Para Densidad aparente se observó dos grupos independientes, el valor más alto fue el Grupo B: Dominico 0,42 g/cm³; frente al valor más bajo de Barraganete 0,38 g/cm³ y Maqueño 0,39 g/cm³ pertenecientes al grupo A.

Se observó tres grupos independientes para Rendimiento, el valor más alto fue Maqueño 28,93% del grupo C, seguido de Barraganete 24,63% del grupo B y el valor más bajo Dominico 20,20% del grupo A.

En Resistencia al Rasgado no hay diferencia significativa para los 3 niveles de variedades de plátano.

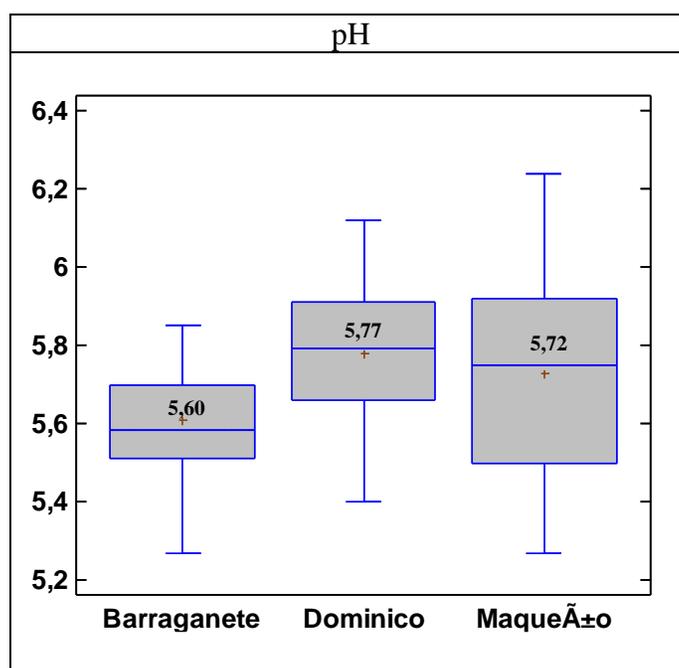


Figura 3. Efecto del estudio de tres variedades de plátano (Factor A) sobre las variables químicas.

La figura 3 presenta el resultado de la variable química que obtuvo diferencia significativa en el estudio de tres variedades de plátano (Factor A) para extraer pulpa celulósica.

Para Ceniza, Humedad y Fibra no hubo diferencia significativa para los 3 niveles de variedades de plátano.

En pH se observó dos grupos independientes, el valor más alto fue Dominico 5,77 (grupo B) y Maqueño 5,72 (grupo AB), frente a Barraganete 5,60 (grupo A) con el valor más bajo y no difiere significativamente de Maqueño 5,72 (grupo AB).

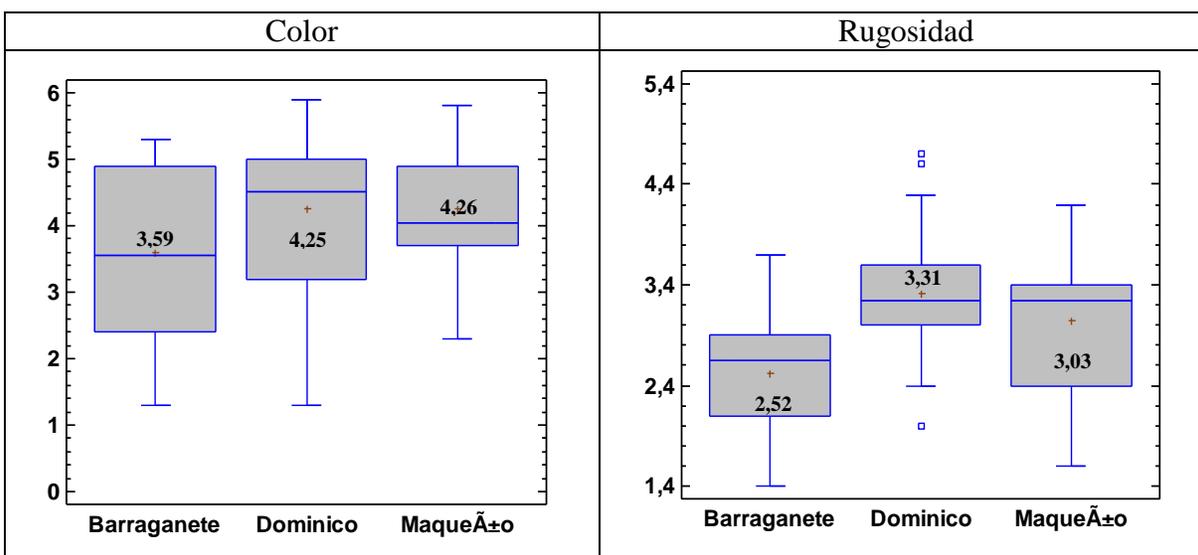


Figura 4. Efecto del estudio de tres variedades de plátano (Factor A) sobre las variables ópticas.

La figura 4 presenta los resultados de las variables ópticas que tuvieron diferencia significativa en el estudio de tres variedades de plátano (Factor A) para extraer pulpa celulósica.

Respecto a Color se observó dos grupos independientes, el valor más alto fue el grupo B: Maqueño 4,26 y Dominico 4,25; frente al grupo A: Barraganete 3,59 con el valor más bajo.

Para Rugosidad se obtuvo tres grupos independientes, Dominico 3,31 (Grupo C) con el valor más alto, seguido de Maqueño 3,03 (Grupo B) y el valor más bajo Barraganete 2,52 (grupo A).

4.14 Prueba de significancia de Tukey del comportamiento de hojas, pseudotallo y raquis de plátano en el proceso de obtener celulosa de óptima calidad.

Tabla 29. Resultados de las variables físicas del comportamiento de hojas, pseudotallo y raquis de plátano en el proceso de obtener celulosa (Tukey $P>0,05$).

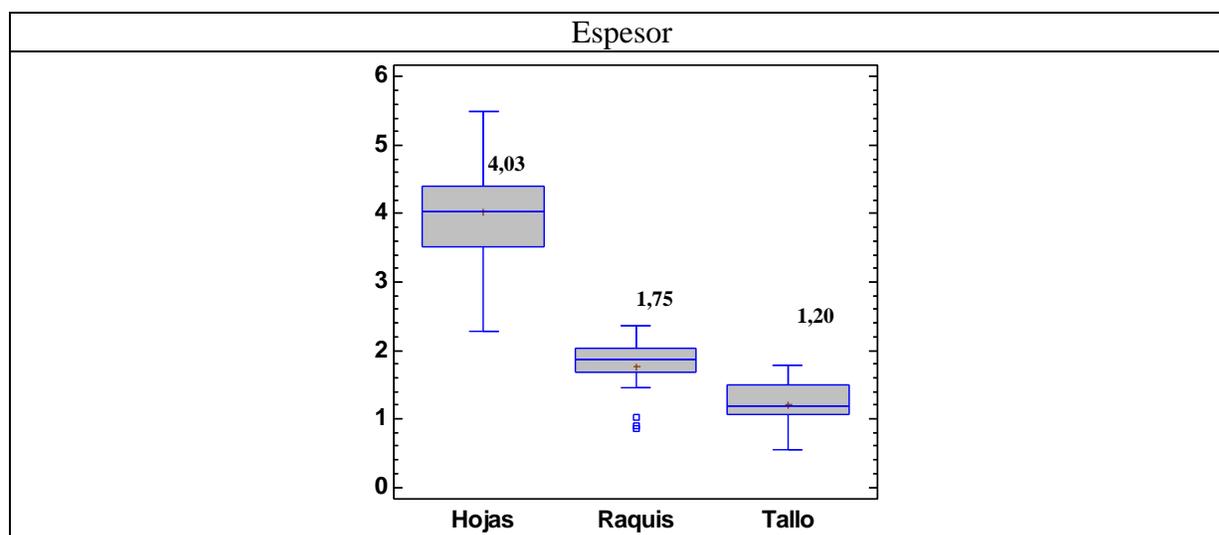
Factor B	Espesor	Gramaje	Densidad Ap.	Rendimiento	Resistencia al Rasgado
R1 Hojas	4,03±0,07(C)	1839,77±37,11(B)	0,45±0,008(C)	31,33±0,63(C)	75,54±4,68(B)
R2 Raquis	1,75±0,07(B)	586,43±37,11(A)	0,34±0,008(A)	22,38±0,63(B)	29,0±4,68(A)
R3 Pseudotallo	1,20±0,07(A)	495,32±37,11(A)	0,41±0,008(B)	20,04±0,63(A)	27,22±4,68(A)

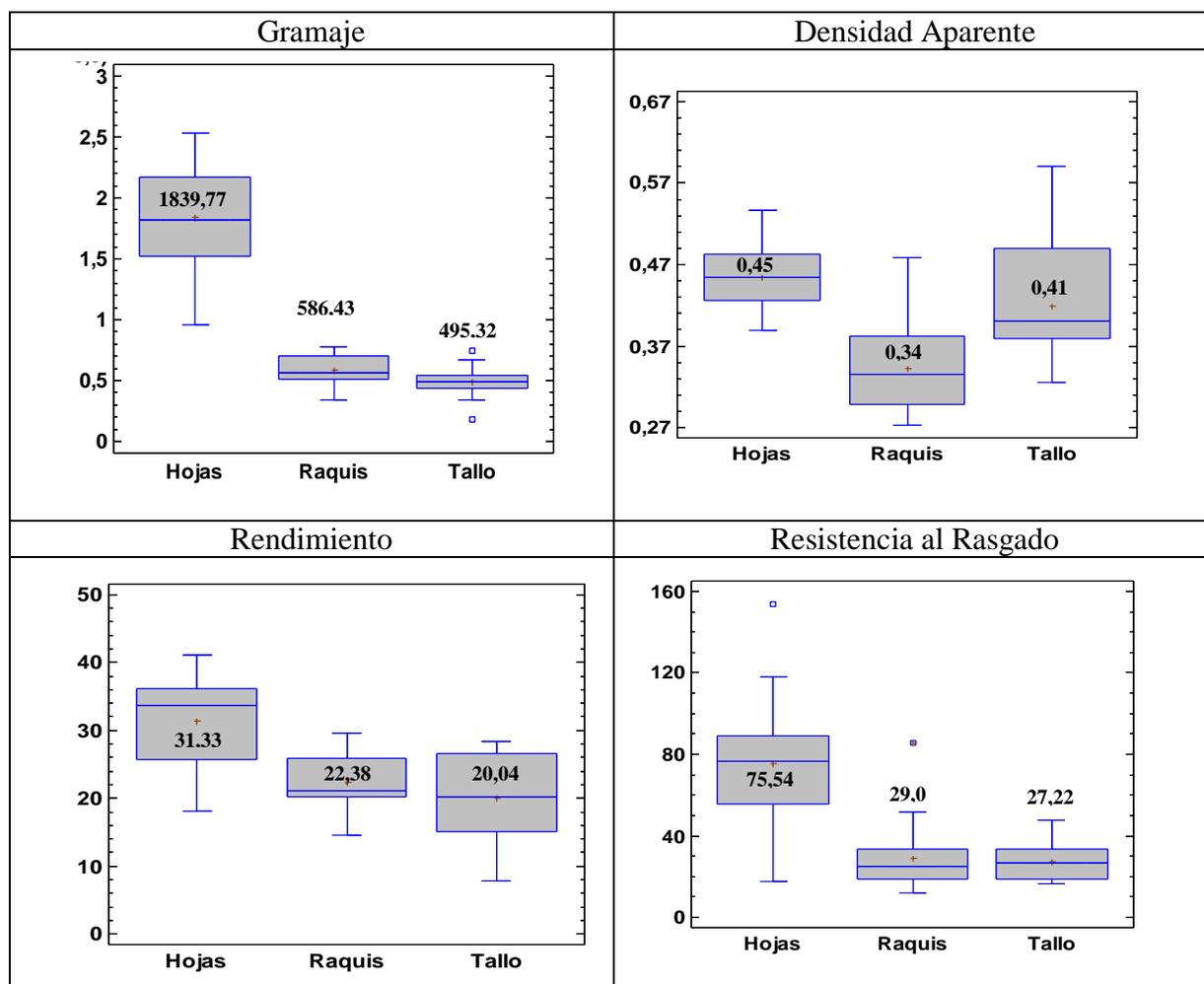
Tabla 30. Resultados de las variables químicas del comportamiento de hojas, pseudotallo y raquis de plátano en el proceso de obtener celulosa (Tukey $P>0,05$).

Factor B	Ceniza	pH	Humedad	Fibra
R1 Hojas	3,33±0,32 (B)	5,55±0,03 (A)	9,12±0,30 (A)	63,44±2,32 (A)
R2 Raquis	1,69±0,32 (A)	5,74±0,03 (B)	10,0±0,30 (A)	69,61±2,32 (A)
R3 Pseudotallo	1,88±0,32 (A)	5,80±0,03 (B)	9,94±0,30 (A)	63,77±2,32 (A)

Tabla 31. Resultados de las variables ópticas del comportamiento de hojas, pseudotallo y raquis de plátano en el proceso de obtener celulosa (Tukey $P>0,05$).

Factor B	Color	Rugosidad
R1 Hojas	3,42±0,10 (A)	2,21±0,07 (A)
R2 Raquis	4,07±0,10 (B)	3,21±0,07 (B)
R3 Pseudotallo	4,60±0,10 (C)	3,45±0,07 (B)





CONTINUA

Figura 5. Efecto del estudio de hojas, pseudotallo y raquis de plátano (Factor B) sobre las variables físicas

La figura 5 presenta los resultados de las variables físicas que tuvieron diferencia significativa del comportamiento de hojas, pseudotallo y raquis de plátano (Factor B) en el proceso de obtener celulosa.

Respecto a Espesor se observó tres grupos independientes, el valor más alto fue Hojas 4,03 mm (grupo C) seguido de Raquis 1,75 mm (grupo B), y el valor más bajo pseudotallo del grupo A con 1,20mm.

En Gramaje se obtuvo dos grupos independientes, el valor más alto fue Hojas 1839,77 g/m² del grupo B y valores más bajos nos dio el grupo A: Raquis 586,43 g/m² y Pseudotallo 495,32 g/m².

Densidad Aparente obtuvo de tres grupos independientes, Hojas 0,45 g/cm³ del grupo C seguido de Pseudotallo 0,41 g/cm³ del grupo B, y el valor más bajo con Raquis 0,34 g/cm³ del grupo A.

Se observó tres grupos independientes en Rendimiento, el valor más alto fue Hojas 31,33% del grupo C, seguido de Raquis 22,38% del grupo B y el valor más bajo Pseudotallo 20,04% del grupo A.

Resistencia al Rasgado obtuvo dos grupos independientes, el grupo B: Hojas 75,54 N con el mayor valor, frente al grupo A: Raquis 29,0 N y Pseudotallo 27,22 N con los valores más bajos.

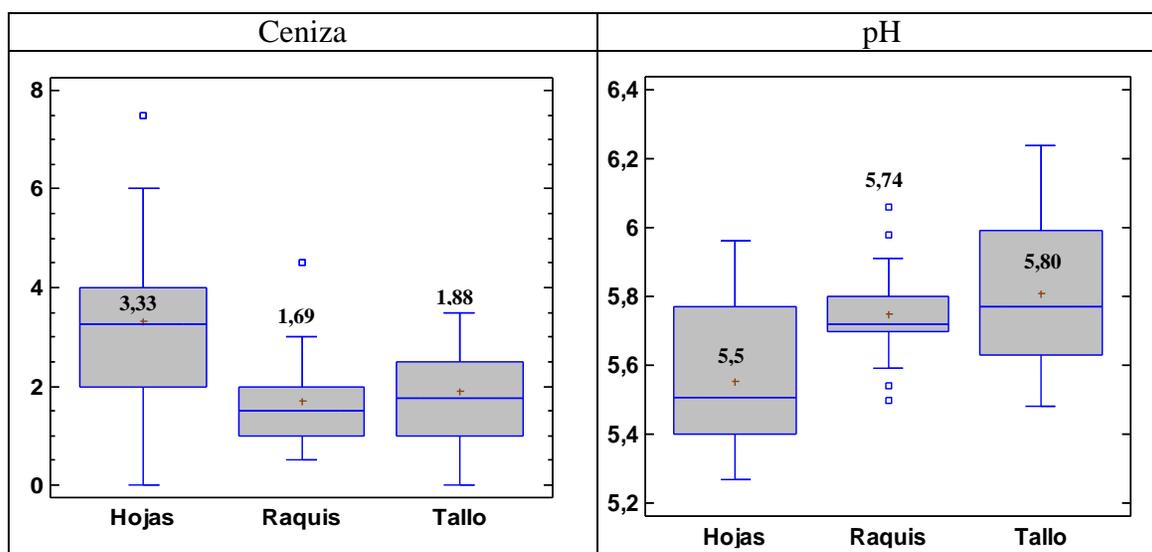


Figura 6. Efecto del estudio de hojas, pseudotallo y raquis de plátano (Factor B) sobre las variables químicas

La figura 6 presenta los resultados de las variables físicas que tuvieron diferencia significativa del comportamiento de Hojas, Pseudotallo y Raquis de plátano (Factor B) en el proceso de obtener celulosa.

En Humedad y Fibra no hay diferencia significativa para los tres niveles de residuos vegetativos de plátano en el proceso de obtener celulosa.

Para Ceniza se observó dos grupos independientes, el valor más alto fue Hojas 3,33% del Grupo B, frente a Raquis 1,69% y Pseudotallo 1,88% pertenecientes al grupo A con los valores más bajos.

pH obtuvo dos grupos independientes, el valor más alto fue el grupo B: Pseudotallo 5,80 y Raquis 5,74; frente al grupo A: Hojas 5,55 con el valor más bajo.

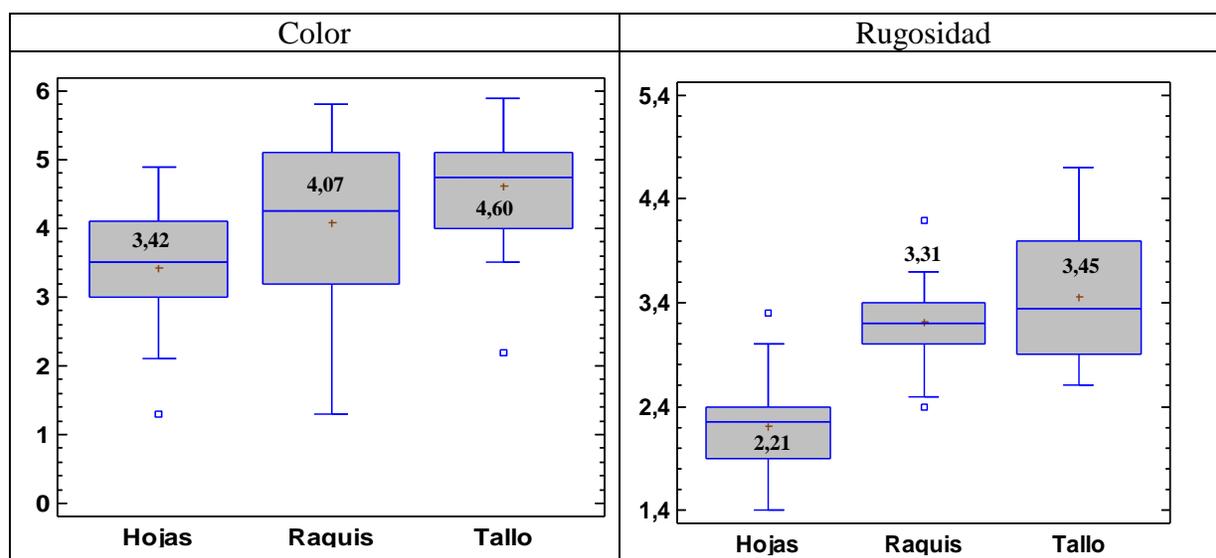


Figura 7. Efecto del estudio de hojas, pseudotallo y raquis de plátano (Factor B) sobre las variables ópticas

La figura 7 presenta los resultados de las variables ópticas que tuvieron diferencia significativa del comportamiento de Hojas, Pseudotallo y Raquis de plátano (Factor B) en el proceso de obtener celulosa.

Se observó tres grupos independientes para Color, el valor más alto fue Pseudotallo 4,60 del grupo C, seguido de Raquis 4,07 del grupo B y el valor más bajo Hojas 3,42 del grupo A.

En Rugosidad se obtuvo dos grupos independientes, el valor más alto fue el Grupo B: Pseudotallo 3,45 y Raquis 3,21; frente a Hojas 2,21 del grupo A con el valor más bajo.

4.15 Prueba de significancia de Tukey del estudio del efecto en la etapa de blanqueamiento que ocasiona el proceso y reproceso realizado a la pulpa celulósica.

Tabla 32. *Resultados de las variables físicas del estudio del efecto en la etapa de blanqueamiento que ocasiona el proceso y reproceso realizado a la pulpa celulósica (Tukey $P>0,05$).*

Factor C	Esesor	Gramaje	Densidad Ap.	Rendimiento	Resistencia al rasgado	
C1	Proceso	2,61±0,06 (B)	1091,91±30,30 (B)	0,40±0,006(A)	28,13±0,52 (B)	39,99±3,82 (A)
C2	Reproceso	2,04±0,06 (A)	855,77±30,30 (A)	0,40±0,006(A)	21,04±0,52 (A)	47,85±3,82 (A)

Tabla 33. *Resultados de las variables químicas del estudio del efecto en la etapa de blanqueamiento que ocasiona el proceso y reproceso realizado a la pulpa celulósica (Tukey $P>0,05$).*

Factor C	Ceniza	pH	Humedad	Fibra	
C1	Proceso	2,64±0,26 (A)	5,70±0,03 (A)	9,58±0,25 (A)	59,74±1,89 (A)
C2	Reproceso	1,96±0,26 (A)	5,70±0,03 (A)	9,79±0,25 (A)	71,48±1,89 (B)

Tabla 34. *Resultados de las variables ópticas del estudio del efecto en la etapa de blanqueamiento que ocasiona el proceso y reproceso realizado a la pulpa celulósica (Tukey $P>0,05$).*

Factor C	Color	Rugosidad	
C1	Proceso	3,16±0,08 (A)	2,85±0,06 (A)
C2	Reproceso	4,90±0,08 (B)	3,05±0,06 (B)

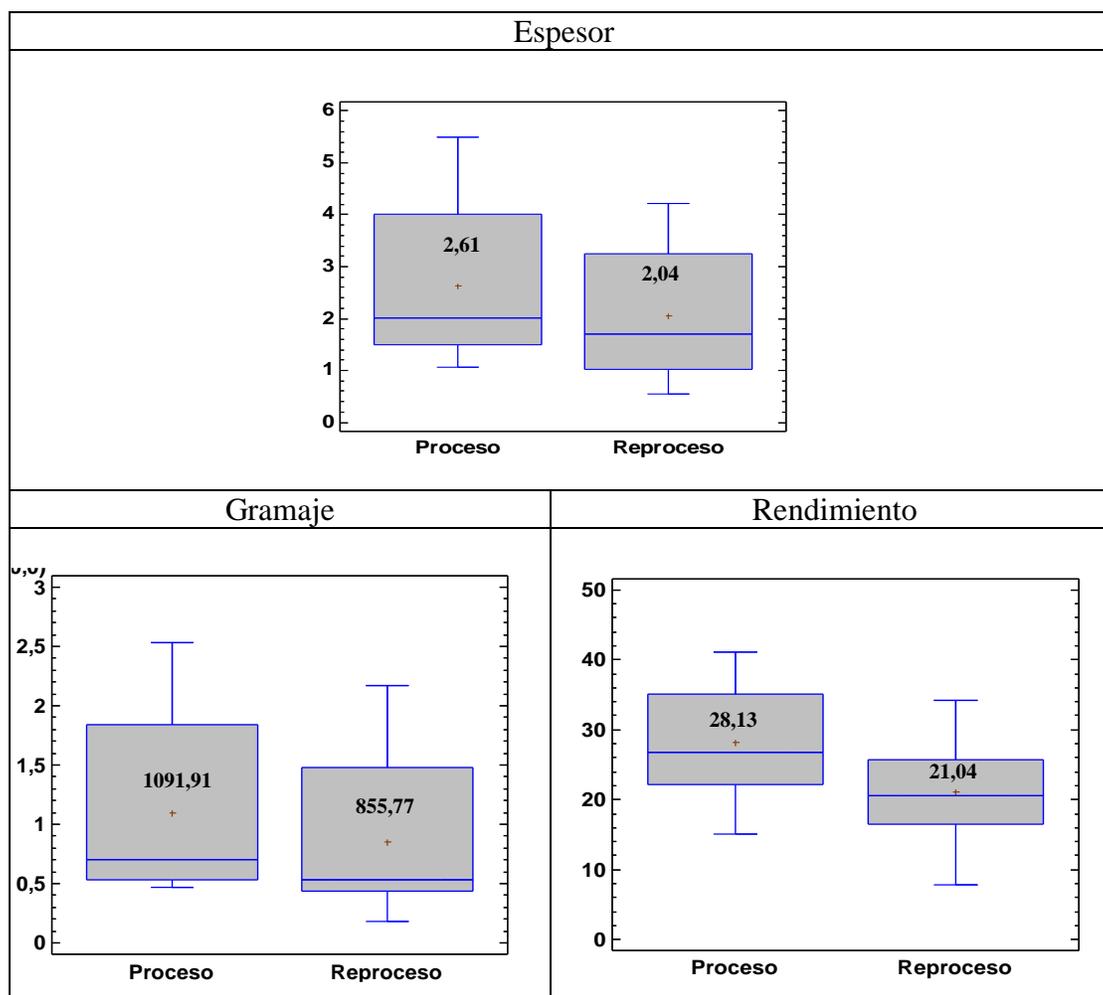


Figura 8. Efecto del estudio en la etapa de blanqueamiento que ocasiona el proceso y reproceso (Factor C) sobre las variables físicas

La figura 8 presenta los resultados de las variables físicas que tuvieron diferencia significativa en el estudio del efecto en la etapa de blanqueamiento que ocasiona el proceso y reproceso (Factor C) realizado a la pulpa celulósica.

Para Espesor se observó dos grupos independientes, el valor más alto fue: Proceso 2,61 mm (Grupo B) frente al valor más bajo: Reproceso 2,04 (Grupo A).

Gramaje obtuvo dos grupos independientes, el valor más alto fue Proceso 1019,91 g/m² (Grupo B) y el valor más bajo fue Reproceso 855,77 g/m² (Grupo A).

Dos grupos independientes obtuvo Rendimiento, el Grupo B: Proceso 28,13% con el valor más alto, frente al Grupo A: Reproceso 21,04% con el valor más bajo.

Para Densidad Aparente y Resistencia al rasgado no hay diferencia significativa entre los niveles (Proceso, Reproceso)

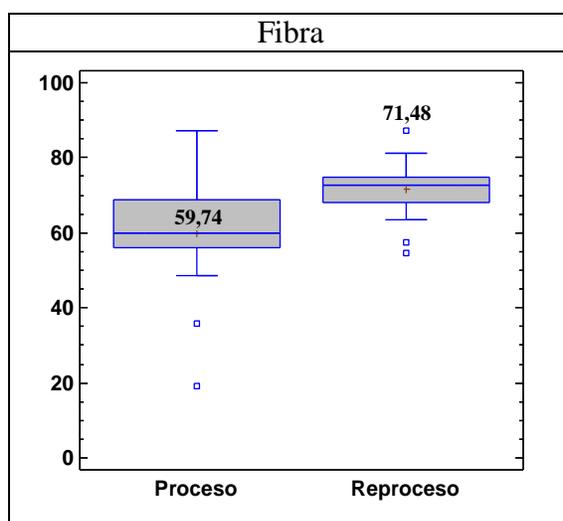


Figura 9. Efecto del estudio en la etapa de blanqueamiento que ocasiona el proceso y reproceso (Factor C) sobre las variables químicas

La figura 9 presenta el resultado de la variable química que tuvo diferencia significativa en el estudio del efecto en la etapa de blanqueamiento que ocasiona el proceso y reproceso (Factor C) realizado a la pulpa celulósica.

Para Cenizas, pH y Humedad no hubo diferencia significativa entre los niveles (Proceso, Reproceso)

Respecto a Fibra se observó dos grupos independientes, el valor más alto fue Reproceso 71,48% (Grupo B) frente al valor más bajo que fue Proceso 59,74% (Grupo A).

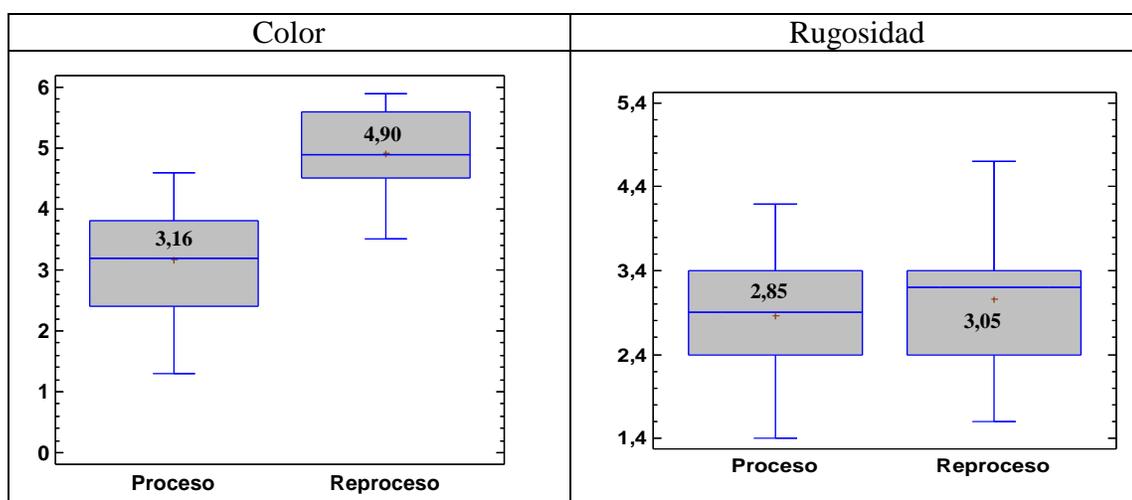


Figura 10. Efecto del estudio en la etapa de blanqueamiento que ocasiona el proceso y reproceso (Factor C) sobre las variables ópticas.

La figura 10 presenta los resultados de las variables ópticas que tuvieron diferencia significativa en el estudio del efecto en la etapa de blanqueamiento que ocasiona el proceso y reproceso (Factor C) realizado a la pulpa celulósica.

En Color se observó dos grupos independientes, el valor más alto: Reproceso 4,90 (Grupo B) frente al valor más bajo: Proceso 3,16 (Grupo A).

Respecto a Rugosidad se obtuvo dos grupos independientes, el valor más alto: Reproceso 3,05 (Grupo B) frente al valor más bajo: Proceso 2,85 (Grupo A).

4.16 Prueba de significancia de Tukey de la interacción AxBxC del estudio del proceso de obtención de pulpa celulósica a partir de residuos vegetativos de tres variedades de plátano como materia prima en la elaboración de papel blanco.

Tabla 35. *Prueba de significancia de Tukey de la interacción AxBxC, variables físicas.*

VARIEDAD	RESIDUO	CICLO	ESPESOR	GRAMAJE	DENSIDAD A.	RENDIMIENTO	RESISTENCIA AL RASGADO
Barraganete	Hojas	Proceso	4,5 GH	2104,72 DE	0,46 DEFGH	37,93 I	68,79 ABC
Barraganete	Hojas	Reproceso	3,58 EF	1650 CD	0,46 EFGH	26,36 EFGH	75,64 ABC
Barraganete	Raquis	Proceso	2,04 CD	678,89 A	0,34 ABC	24,08 CDEFG	24,92 A
Barraganete	Raquis	Reproceso	1,66 ABC	513,33 A	0,31 AB	20,8 ABCDEF	14,75 A
Barraganete	Tallo	Proceso	1,55 ABC	630 A	0,41 ABCDEFG	24,65 DEFG	34,17 AB
Barraganete	Tallo	Reproceso	1 AB	351,67 A	0,35 ABCD	13,97 AB	20,92 A
Maqueño	Hojas	Proceso	5 H	2325,28 E	0,47 EFGH	38,27 I	46,67 AB
Maqueño	Hojas	Reproceso	4,14 FGH	2021,67 DE	0,49 GH	31,89 GHI	114,33 C
Maqueño	Raquis	Proceso	2,02 CD	742,22 AB	0,37 ABCDEF	27,85 FGH	42,33 AB
Maqueño	Raquis	Reproceso	1,93 BCD	606,39 A	0,31 AB	24,03 CDEFG	31,33 AB
Maqueño	Tallo	Proceso	1,34 ABC	484,72 A	0,37 ABCDE	27,23 EFGH	28,58 AB
Maqueño	Tallo	Reproceso	1,49 ABC	576,11 A	0,39 ABCDEFG	24,33 CDEFG	23,24 A
Dominico	Hojas	Proceso	3,96 FG	1740,83 D	0,44 CDEFGH	34,22 HI	60,97 ABC
Dominico	Hojas	Reproceso	2,9 DE	1196,11 BC	0,41 ABCDEFG	19,35 ABCDE	86,86 BC
Dominico	Raquis	Proceso	1,96 BCD	595,28 A	0,30 A	21,53 BCDEF	33,75 AB
Dominico	Raquis	Reproceso	0,92 A	382,5 A	0,42 BCDEFGH	16,03 ABC	26,92 AB
Dominico	Tallo	Proceso	1,11 ABC	525,28 A	0,48 FGH	17,48 ABCD	19,75 A
Dominico	Tallo	Reproceso	0,77 A	404,17 A	0,53 H	12,61 A	36,67 AB

La tabla 37 presenta los resultados de las variables físicas del estudio del proceso de obtención de pulpa celulósica a partir de residuos vegetativos de tres variedades de plátano como materia prima en la elaboración de papel blanco.

En Espesor, los valores más altos se obtuvo del Grupo H (Maqueño-Hojas-Proceso 5mm), frente al Grupo A (Dominico-Raquis-Reproceso 0,92 mm y Dominico-Tallo-Reproceso 0,77 mm) con los valores más bajos.

El Grupo E: Maqueño-Hojas-Proceso 2325,28 g/m² presentó los valores más altos para Gramaje, frente al Grupo A (Barraganete-Raquis-Proceso 678,89 g/m², Barraganete-Raquis-Reproceso 513,33 g/m², Barraganete-Tallo-Proceso 630 g/m², Barraganete-Tallo-Reproceso 351,67 g/m², Maqueño-Raquis-Reproceso 606,39 g/m², Maqueño-Tallo-Proceso 484,72 g/m², Maqueño-Tallo-Reproceso 576,11 g/m², Dominico-Raquis-Proceso 595,28 g/m², Dominico-Raquis-Reproceso 382,5 g/m², Dominico-Tallo-Proceso 525,28 g/m², Dominico-Tallo-Reproceso 404,17 g/m²) con los valores más bajos.

En Densidad Aparente, los valores más altos se obtuvo del Grupo H (Dominico-Tallo-Reproceso 0,53 g/cm³), frente al Grupo A (Dominico-Raquis-Proceso 0,30 g/cm³) con el valor más bajo.

Rendimiento obtuvo al Grupo I (Barraganete-Hojas-Proceso 37,93% y Maqueño-Hojas-Proceso 38,27%) con los valores más altos y al Grupo A (Dominico-Tallo-Reproceso 12,61%) con el valor más bajo.

Los valores más altos en Resistencia al Rasgado se obtuvo del Grupo C (Maqueño-Hojas-Reproceso 114,33 N) frente a los valores más bajos del Grupo A (Barraganete-Raquis-Proceso 24,92 N, Barraganete-Tallo-Reproceso 20,92 N, Barraganete-Raquis-Reproceso 14,75 N, Maqueño-Tallo-Reproceso 23,24 N, Dominico-Tallo-Proceso 19,75 N).

Tabla 36. *Prueba de significancia de Tukey de la interacción AxBxC, variables químicas.*

VARIEDAD	RESIDUO	CICLO	CENIZAS	pH	HUMEDAD	FIBRA
Barraganete	Hojas	Proceso	3,5 A	5,41 A	11 B	49,11 A
Barraganete	Hojas	Reproceso	4,83 A	5,62 ABC	9,83 AB	72,67 A
Barraganete	Raquis	Proceso	2,17 A	5,66 ABC	9,83 AB	61,33 A
Barraganete	Raquis	Reproceso	1,0 A	5,71 ABC	10,83 B	74 A
Barraganete	Tallo	Proceso	3,5 A	5,56 ABC	10,83 B	47,11 A
Barraganete	Tallo	Reproceso	1,33 A	5,68 ABC	9,17 AB	64 A
Maqueño	Hojas	Proceso	3,5 A	5,4 A	6,75 A	60,89 A
Maqueño	Hojas	Reproceso	2,17 A	5,54 ABC	10,17 AB	74,44 A
Maqueño	Raquis	Proceso	1,5 A	5,87 ABC	10,33 AB	66,82 A
Maqueño	Raquis	Reproceso	2,17 A	5,6 ABC	9,67 AB	74,89 A
Maqueño	Tallo	Proceso	1,17 A	5,96 BC	9,67 AB	60,89 A
Maqueño	Tallo	Reproceso	1,5 A	5,99 C	10,5 AB	72,89 A
Dominico	Hojas	Proceso	4,67 A	5,87 ABC	8,5 AB	57,11 A
Dominico	Hojas	Reproceso	1,33 A	5,49 AB	8,5 AB	66,44 A
Dominico	Raquis	Proceso	2,0 A	5,85 ABC	9,17 AB	70,22 A
Dominico	Raquis	Reproceso	1,33 A	5,81 ABC	10,17 AB	70,44 A
Dominico	Tallo	Proceso	1,83 A	5,72 ABC	10,17 AB	64,22 A
Dominico	Tallo	Reproceso	2,0 A	5,93 BC	9,33 AB	73,56 A

La tabla 38 presenta los resultados de las variables químicas obtenidos del estudio del proceso de obtención de pulpa celulósica a partir de residuos vegetativos de tres variedades de plátano como materia prima en la elaboración de papel blanco.

Para Cenizas y Fibra no hay diferencia significativa entre las interacciones.

pH obtuvo los valores más altos en el Grupo C (Maqueño-Tallo-Reproceso 5,99) frente al Grupo A (Barraganete-Hojas-Proceso 5,41 y Maqueño-Hojas-Proceso 5,40) con los valores más bajo.

En Humedad se observó al Grupo B (Barraganete-Hojas-Proceso 11%, Barraganete-Raquis-Reproceso 10,83% y Barraganete-Tallo-Proceso 10,83%) con los valores más altos, frente al Grupo A (Maqueño-Hojas-Proceso 6,75%) con el valor más bajo.

Tabla 37. *Prueba de significancia de Tukey de la interacción AxBxC, variables ópticas.*

VARIEDAD	RESIDUO	CICLO	COLOR	RUGOSIDAD
Barraganete	Hojas	Proceso	2,9 ABCD	1,67 A
Barraganete	Hojas	Reproceso	3,87 BCDEFG	2,07 AB
Barraganete	Raquis	Proceso	1,7 A	2,87 BCDE
Barraganete	Raquis	Reproceso	5 FGHI	2,87 BCDE
Barraganete	Tallo	Proceso	3,1 ABCD	2,77 BCDE
Barraganete	Tallo	Reproceso	5 FGHI	2,9 BCDEF
Maqueño	Hojas	Proceso	2,63 ABC	2,33 ABCD
Maqueño	Hojas	Reproceso	3,97 CDEFG	2 AB
Maqueño	Raquis	Proceso	3,77 BCDEF	3,33 DEF
Maqueño	Raquis	Reproceso	5,7 HI	3,37 EF
Maqueño	Tallo	Proceso	4,3 DEFGH	3,9 FG
Maqueño	Tallo	Reproceso	5,2 GHI	3,3 CDEF
Dominico	Hojas	Proceso	2,53 AB	2,3 ABC
Dominico	Hojas	Reproceso	4,63 EFGHI	2,9 BCDEF
Dominico	Raquis	Proceso	3,33 BCDE	3,27 CDEF
Dominico	Raquis	Reproceso	4,97 FGHI	3,6 EFG
Dominico	Tallo	Proceso	4,2 DEFG	3,3 CDEF
Dominico	Tallo	Reproceso	5,83 I	4,53 G

La tabla 39 presenta los resultados de las variables ópticas obtenidos del estudio del proceso de obtención de pulpa celulósica a partir de residuos vegetativos de tres variedades de plátano como materia prima en la elaboración de papel blanco.

Para Color el valor más altos se obtuvo del Grupo I (Dominico-Tallo-Reproceso 5,83) frente al Grupo A (Barraganete-Raquis-Proceso 1,7) con el valor más bajo.

En Rugosidad se observó al Grupo G (Dominico-Tallo-Reproceso 4,53) con el valor más alto, frente al Grupo A (Barraganete-Hojas-Proceso 1,67) con el valor más bajo.

CAPITULO V

5. DISCUSIÓN

5.1. Con respecto a las variedades (Factor A)

En la elaboración de las hojas de papel blanco y la evaluación de propiedades físicas para el Factor A (Variedades: Barraganete, Maqueño, Dominico) de acuerdo con la prueba de significación Tukey ($P > 0,05$) se pudo determinar:

Las normas TAPPI establece que el papel debe ser pesado en g/m^2 , para la variable gramaje el mayor valor obtuvo Maqueño ($1126,06 g/m^2$) seguido de Barraganete ($988,10g/m^2$) y por ultimo Dominico ($807,36 g/m^2$). Araujo (2011) en relación a la norma ISO 11108 sobre papeles permanentes para documentos de archivos, estos deben tener un gramaje de $70 g/m^2$, por lo tanto, los resultados obtenidos superan estos parámetros. Según Gonzales (2010) cuando el gramaje es mayor o igual a $250 g/m^2$, el producto se denomina cartón; por lo tanto los valores obtenidos pertenecen al gramaje de un cartón. Siendo necesario considerar que el tipo de procesamiento empleado en la presente investigación fue a nivel de laboratorio, lo que influyó en las características físicas de obtención del papel.

Con respecto al espesor se encontró que el papel elaborado con Barraganete y Maqueño presentó el mayor espesor, siendo $2,40 mm$ y $2,65 mm$ respectivamente, en cuanto al Dominico tuvo un espesor de $1,93 mm$ siendo el más bajo. Para NTE INEN 2904:2015 el calibre mínimo es $0,06 mm$; los resultados obtenidos en la investigación superan estos requisitos, pero según CARTONLAB (2017) se lo puede considerar como cartón compacto por tener un grosor entre 1 y $3 mm$.

Frente a la variable Densidad Aparente, el mejor resultado fue Dominico $0,42 \text{ g/cm}^3$ frente a Maqueño $0,39 \text{ g/cm}^3$ y Barraganete $0,38 \text{ g/cm}^3$; valores inferiores a los especificados por Grupo Pochteca (2015) que va de 0.5 g/cm^3 en papeles voluminosos hasta 0.75 g/cm^3 para papeles más comprimidos, Para CONDORI (2010) las pulpas tratadas con hidróxido de sodio producen hojas de muy baja densidad. Además hay que considerar la compresión a la que fue sometida la hoja mediante una prensa artesanal y que no tienen encolantes ni almidón entre sus fibras.

El Maqueño fue la variedad con mayor rendimiento, seguido por Barraganete y finalmente Dominico con valores de 28,93%, 24,63% y 20,20% respectivamente. Aguilar-Rivera (2014) empleó una metodología muy parecida a la de esta investigación con un rendimiento de 32.05% igualmente CONDORI (2010) con un rendimiento 26.10% de pulpa, para fibras no leñosas.

Para la resistencia al rasgado no se obtuvo diferencias significativas entre variedades: Barraganete 39,86 N; Maqueño 47,75 N y Dominico 44,15N; Torres (2000) determina que el papel “Samarkanda alto gramaje” requiere una fuerza máxima hasta su ruptura de 38.317 N; al comparar con los valores obtenidos, se observa que el papel de plátano tiene mayor resistencia al rasgado que del papel Samarkanda alto gramaje.

En relación a las propiedades químicas, Ceniza no presentó diferencias significativas entre variedades: Barraganete 2,72%; Maqueño 2,0%; Dominico 2,19%; valores que se encuentran dentro del rango según Ricoh (2013) para papeles sin recubrimiento con un contenido de cenizas de 15% o menor.

Para pH se obtuvo el valor más alto de Dominico 5,77 y Maqueño 5,72 frente al valor más bajo Barraganete 5,60 y además que no difiere significativamente con Maqueño 5,72. Estos valores

son inferiores a los establecidos por la norma ISO 11108 que establece un pH entre 7,5 a 10,0; pero los valores son superiores a pH 5 y MEJÍA (2000) señala que papeles por debajo de este pH, se amarillenta y deteriora rápidamente. Cabe recalcar que en la industria papelera se utilizan agentes alcalinos o neutros como el carbonato de calcio.

En cuando a humedad, no presentó diferencias significativas entre variedades con valores Barraganete 10,25%; Maqueño 9,51%; Dominico 9,30%. La NTE INEN 2904:2015 establece que la humedad del papel debe ser entre 5%-8%, por lo tanto, los resultados obtenidos en la investigación superan estos requisitos.

Para Fibra, no presentó diferencias significativas entre variedades con valores Barraganete 61,37%; Maqueño 68,47%; Dominico 67,0%, estos valores al ser menor al 80% no se los puede considerar como papel y cartón Kraft según Gonzales (2010).

Para las variables ópticas se determinó que Maqueño y Dominico presentaron los colores más claros, tendiendo a ligeramente Beige Perla en valores de 4,26 y 4,25; para Barraganete este presento un color ligeramente arena claro con un valor de 3,59.

Con respecto a Rugosidad, Barraganete con 2,52 fue clasificado como Rugoso, mientras que Dominico presentó el mejor resultado con el menor grado de rugosidad con un valor de 3,31 clasificado como Ligeramente Rugoso, al ser un papel elaborado a nivel de laboratorio las fibras carecen de dirección, además Jaramillo-Valle (2017) explica que el papel artesanal presenta alta rugosidad producto de la compactación de su fibra.

5.2. Con respecto a los residuos (Factor B)

En el factor B se evaluaron los residuos de cosecha (Hojas, Raquis, Pseudotallo), evaluando cada una de las propiedades físico-químicas y ópticas en la obtención de papel.

Araujo (2011) en relación a la norma ISO 11108 el papel para archivos tener un gramaje de 70 g/m², por lo tanto, los resultados obtenidos superan estos parámetros, el Gramaje del papel de Hojas de plátano presentó el valor más alto 1839,77 g/m² seguido de Raquis con gramaje de 586,43 g/m² y Pseudotallo 495,32 g/m², por lo tanto se considera como cartón ya que Gonzales (2010) explica que si es mayor o igual a 250 g/m², el producto se denomina cartón.

La NTE INEN 2904:2015 establece un calibre mínimo 0,06 mm; el resultado obtenido en el papel elaborado con Hojas (4,03 mm) supera estos requisitos considerando como cartón ya que Gonzales (2010) establece que el cartón tiene un espesor mayor o igual a 3 mm; frente a los resultados de Raquis 1,75 mm y Pseudotallo con 1,20 mm.

Hojas obtuvo el mayor resultado para Densidad Aparente con 0,45 g/cm³; seguido de Pseudotallo con 0,41 g/cm³ y Raquis 0,34 g/cm³; valores inferiores a los establecidos por Grupo Pochteca (2015) con valores de densidad aparente de 0.5 g/cm³ a 0.75 g/cm³; el papel elaborado presenta aire entre sus fibras.

Para los autores Alvarez Nuñez, Paredes Medina (2010) los porcentajes de celulosa en base seca son: Hojas 36,3%; Raquis 30,6%; Pseudotallo 35,3%: datos similares a los obtenidos para la variable rendimiento ya que Hojas 31,33% tuvo el mayor valor seguido de Raquis 22,38% y Pseudotallo con 20,04%.

Para la resistencia al rasgado, Torres (2000) elaboró el papel “Samarkanda coloreado” que requiere una fuerza máxima hasta su ruptura de 70.664 N, valor que se asemeja al obtenido en papel de Hojas con 75,54 N; mientras que Raquis 29,0 N y Pseudotallo 27,22 N presentaron la resistencia más baja, semejante al papel “Samarkanda alto gramaje” elaborado por dicho autor.

Hojas presento el mayor porcentaje de cenizas con 3,33%; frente a Raquis 1,69% y Pseudotallo 1,88%; valores que se encuentran dentro del rango establecido por Ricoh (2013) para papeles sin recubrimiento ya que el contenido en cenizas debe ser 15% o menor.

Para pH, los residuos Raquis 5,74 y Pseudotallo 5,80 obtuvieron los valores más altos, frente a Hojas 5,55 con el valor más bajo. Estos valores son inferiores según la norma ISO 11108 que establece un pH entre 7,5 a 10,0; pero al ser superiores a pH 5 no se amarillenta y deteriora rápidamente, según MEJÍA (2010).

En cuando a humedad, no presentó diferencias significativas entre residuos con valores: Hojas 9,12%; Raquis 10,0%; Pseudotallo 9,94%. La NTE INEN 2904:2015 establece la humedad entre 5%-8%, por lo tanto, los resultados obtenidos en la investigación superan estos requisitos.

Para Fibra, no presentó diferencias significativas entre residuos con valores Hojas 63,44%; Raquis 69,61%; Pseudotallo 63,77%, estos valores al ser menor al 80% no se los puede considerar como papel y cartón Kraft según Gonzales (2010).

Para la variable óptica Color, el color más claro de obtuvo de Pseudotallo 4,60 (Ligeramente Beige Perla), seguido de Raquis con 4,07 (Ligeramente Beige Perla), mientras que el papel más oscuro fue de Hojas con 3,42 (Ligeramente Arena Claro), según MOHAPATRA (2010) el contenido de lignina de la Hoja de banano es 24,3%, valores superiores a los del Raquis con

10,5% y Pseudotallo con 12% y López (2005) explica que la lignina provoca el color ocre en el papel y que debe ser separada o blanqueada para obtener una pasta de calidad.

En cuanto a Rugosidad, Raquis 3,21 y Pseudotallo 3,45 son Ligeramente rugosos, frente a Hojas con 2,21 siendo un papel Rugoso, al ser un papel elaborado a nivel de laboratorio este carece de un sentido o dirección de sus fibra, además Jaramillo-Valle (2017) explica que el papel artesanal presenta alta rugosidad producto de la compactación de su fibra.

5.3. Con respecto al ciclo (Factor C)

Dos ciclos de procesamiento fueron empleados: proceso y reproceso. Es evidente que los resultados obtenidos en variables físicas para Reproceso (espesor 2,04mm; gramaje 855,77 g/m²; rendimiento 21,04%) son menores que a Proceso (espesor 2,61mm; gramaje 1091,91 g/m²; rendimiento 28,13%) debido que a la pasta de celulosa en Reproceso se sometió nuevamente a una deslignificación y eliminación de ceras, pectinas y resinas que no pudieron ser completamente eliminadas en el primer proceso, por lo tanto se obtuvo una pasta de celulosa más pura. Proceso obtuvo los mayores resultados debido a la presencia aun de impurezas; a pesar de eso, a través del pulpeo químico se obtiene fibras más resistentes y de mayor calidad. En cuando a las variables Densidad Aparente y Resistencia al Rasgado no se obtuvo diferencias significativas.

Barba (2002) explica que en el pulpeo químico los rendimientos no pasan entre 40 y 60% debido a la pérdida de ligninas y las hemicelulosas; valores que son superiores a los obtenidos en la investigación con un rendimiento de Proceso: 28,13% y Reproceso:21,04%.

Con respecto a las propiedades químicas, no se encontró diferencias significativas para las variables Ceniza, pH, humedad.

En cuanto a las variables ópticas los mejores resultados obtuvo Reproceso. Para color, en Reproceso hubo mayor blanqueamiento de sus fibras por el doble sometimiento a peróxido de hidrogeno. El papel sometido a Proceso con 3,16 obtuvo la coloración más oscura siendo Ligeramente Arena claro, mientras que Reproceso con 4,90 tiende a Beige Perla siendo la coloración más clara.

Para rugosidad el papel sometido a Proceso con 2,85 presento la textura Rugosa, mientras que Reproceso con 3,05 presento la mejor textura siendo Ligeramente Rugosa.

5.4. Con respecto a la interacción (AxBxC)

En la elaboración de las hojas de papel blanco y la evaluación de las diferentes variables para la interacción (AxBxC) de acuerdo con la prueba de significación Tukey ($P > 0,05$) se pudo determinar:

La interacción Maqueño-Hojas-Proceso obtuvo los mejores resultados en cuanto a las variables físicas: Espesor 5mm; Gramaje 2325,28 g/m²; Rendimiento 38,27%. Maqueño-Hojas-Reproceso obtuvo el mejor resultado para Resistencia al Rasgado con 114,33 N; mientras que Dominico-Tallo-Reproceso obtuvo el mejor resultado para Densidad aparente 0,53 g/cm³.

Al papel elaborado de Maqueño-Hojas-Proceso al obtener un espesor de 5mm y gramaje 2325,28 g/m² se lo considera como cartón, ya que Gonzales (2010) establece que el cartón tiene un espesor mayor o igual a 3 mm y un gramaje mayor o igual a 250 g/m².

También obtuvo el mayor rendimiento con 38,27%, según Alvarez Nuñez, Paredes Medina (2010) las Hojas contienen un porcentaje de celulosa en base seca del 36,3%; siendo este valor mayor al contenido que posee Pseudotallo y Raquis.

La resistencia al rasgado obtuvo un valor de 114,33 N, MOHAPATRA (2010) explica que el contenido de lignina de la Hoja es 24,3%, valores superiores a los del Raquis y Pseudotallo.

Dominico-Tallo-Reproceso obtuvo el mejor resultado para Densidad aparente con 0,53 g/cm³, este valor se encuentra en el rango establecido por Grupo Pochteca (2015) que va de 0.5 g/cm³ a 0.75 g/cm³, siendo el papel menos voluminoso y esto se observa al poseer el espesor más bajo con 0,77 mm. Maqueño-Hojas-Proceso con una densidad aparente de 0,47 g/cm³ no está tan alejado de los rangos establecidos por el autor.

En cuanto a las variables químicas no hubo diferencia significativa para cenizas y Fibra.

Los valores obtenidos para pH determinan que el papel elaborado es ácido y no entran en el rango establecido por ISO 11108 que establece un pH entre 7,5 a 10,0. A pesar de ser ácidos, son papeles que no se amarillenta y deteriora rápidamente por que su pH no es inferior a 5; cabe recalcar que en la elaboración no se utilizaron agentes alcalinos o neutralizantes.

En cuando a humedad, el mejor resultado se obtuvo de Maqueño-Hojas-Proceso con 6,75%, según la NTE INEN 2904:2015 este valor se encuentra en el rango entre 5% a 8%.

Los mejores resultados para el color fue la interacción de Dominico-Tallo-Reproceso con 5,83 obteniendo la calificación de Beige Perla tendiendo a Beige, para MOHAPATRA (2010) el contenido de lignina del Tallo es 12%, al ser sometido a Reproceso hubo mayor deslignificación

y eliminación de ceras, pectinas y resinas, por lo tanto mayor blanqueamiento de sus fibras. Para rugosidad, el papel con la mejor textura fue Dominico-Tallo-Reproceso con 4,53 con el calificativo de Ligeramente Liso además Jaramillo-Valle (2017) explica que el papel artesanal presenta alta rugosidad producto de la compactación de su fibra.

CAPITULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

Factor A (Variedades)

- Maqueño fue la variedad que presentó el mejor rendimiento 28,93% y mejores resultados para las variables físicas y ópticas, atribuyéndole características de un Cartón de espesor 2,65 mm, gramaje 1126,06g/m², densidad aparente 0,39 g/cm³, resistencia al rasgado 47,75N, color ligeramente Beige Perla y de textura Ligeramente Rugoso. Para las variables químicas no hubo diferencia significativa entre variedades para Cenizas, Humedad y Fibra, pero si para pH, por lo tanto es un papel con contenido de humedad superior a lo requerido para papel de cuadernos y con pH ácido pero no menor a 5, por lo tanto no se amarillenta ni deteriora rápidamente.
- Hay que considerar que la densidad aparente se ve afectada por el tipo de compresión al que fue sometida la pulpa a través de una prensa artesanal, por lo tanto el papel presenta aire entre sus fibras, considerándolo un papel voluminoso. Además el proceso de elaboración utilizando hidróxido de sodio producen hojas de muy baja densidad.
- Con base a los resultados se acepta la hipótesis H_a: Las variedades de plátano estudiadas afectan la calidad de la pulpa celulósica a obtener (variedades: Barraganete, Maqueño, Dominico).

Factor B (Residuos)

- Hojas fue el residuo vegetativo que presentó el mejor rendimiento 31,33% y mejores resultados para las variables físicas, atribuyéndole características de un Cartón de espesor 4,03 mm, gramaje 1839,77/m²; densidad aparente 0,45 g/cm³ y resistencia al rasgado 75,54N; pero obtuvo los resultados más bajos para las variables ópticas atribuyendo estos resultados al contenido de lignina; los mejores resultados ópticos fue Pseudotallo con un color Ligeramente Beige Perla y de textura Ligeramente rugosa. En cuanto a las variables químicas no hubo diferencia significativa para Humedad y Fibra. El papel elaborado con Residuos es un papel ácido pero con un pH no menor a 5, por lo tanto no se amarillenta ni deteriora rápidamente.
- Con base a los resultados se acepta la hipótesis Ho: Los tipos de residuos estudiados no producen la misma cantidad de pulpa celulósica (Hojas, Pseudotallo y Raquis).

Factor C (Ciclo)

- Tanto como Proceso y Reproceso son pulpeados químicos pero en Reproceso se obtuvo una pasta más pura y de mayor calidad porque hubo una mayor deslignificación y eliminación de ceras, pectinas y resinas, por lo tanto obtuvo una coloración más clara tendiendo al Beige Perla y una textura ligeramente rugosa. El proceso y el reproceso no afectó en el porcentaje de cenizas, humedad y pH del papel.
- Con base a los resultados obtenidos se acepta la hipótesis Ha: Los ciclos de blanqueo dados a la pulpa celulósica influyen en el proceso de obtención del papel blanco (Proceso – Reproceso).

Interacción A*B*C

- La interacción Maqueño-Hojas-Proceso presento el mejor rendimiento 38,27% atribuyéndole características de un Cartón voluminoso de espesor 5mm; gramaje 2325,28 g/m²; densidad aparente 0,47 g/cm³; pero debido al proceso aún están presentes impurezas como la lignina que le otorga ser de color Arena claro y textura Rugosa; el contenido de cenizas 3,5% y de humedad 6,75% se encontró entre los rangos establecidos, el papel es acido pero no se amarillenta y deteriora rápidamente.
- Maqueño-Hojas-Proceso resulto ser el papel más resistente al rasgado con un valor de 114,33 N.
- Dominico-Tallo-Reproceso obtuvo los mejores resultados para densidad Aparente con 0,53 g/cm³, siendo el papel menos voluminoso; y los mejores resultados para color y rugosidad, calificándolo como un papel Beige Perla de textura Ligeramente Liso.

6.2. Recomendaciones.

- Para la elaboración de papel a base de plátano (*Musa paradisiaca L.*) con características semejantes a cartón, se recomienda la variedad Maqueño, con la parte vegetativa Hojas y con el ciclo proceso por sus óptimos resultados.
- Para la obtención de un papel más refinado se recomienda el uso de la variedad Dominico, con su parte vegetativa Tallo con el ciclo reproceso.
- Para evitar el envejecimiento prematuro del papel, se recomienda el uso de agentes alcalinos o neutralizantes, como el carbonato de calcio, para subir el pH del papel por lo tanto contrarrestar el amarillamiento y envejecimiento del mismo.
- Se recomienda el uso de materiales que llenan los vacíos en la hoja como cargas encolantes y almidón, para evitar el aire entre las fibras, obteniendo papeles más compactos por lo tanto más rígidos y resistentes.
- A partir de los resultados obtenidos se recomienda dar continuidad a investigaciones que evalúen la producción de papel a partir de plátano y sus variedades a fin de poder establecer comparaciones entre los estudios validando protocolos de obtención de la pulpa celulósica.
- En futuras investigaciones es importante que se realice una evaluación económica en cuanto a la extracción de pulpa celulósica a partir de residuos vegetativos de plátano para medir la rentabilidad en la elaboración del papel.

BIBLIOGRAFIA

- A De Lera, S. (2011). *Capítulo II: El papel*. Obtenido de <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/14292/5-%20Cap%C3%ADtulo%20II.%20El%20papel.pdf?sequence=5>
- ABCColor. (04 de Julio de 2003). *La industria papelera es la principal causa de la tala de árboles*. Obtenido de <http://www.abc.com.py/articulos/la-industria-papelera-es-la-principal-causa-de-la-tala-de-arboles-706336.html>
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (06 de Mayo de 2016). *Hidróxido de sodio (Sodium Hydroxide)*. Obtenido de https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts178.html
- Aguilar-Rivera, N., & Houbron, E. (2014). PAPEL AMATE DE PULPA DE CAFÉ (Coffea arabica) (RESIDUO DE BENEFICIO HÚMEDO). *Ra Ximhai*, vol. 10, núm. 3, 103-117.
- ÁLVAREZ NÚÑEZ, & PREDES MEDINA. (2010). Obtención de Enzimas Celulasas por Fermentación Sólida de Hongos para ser Utilizadas en el Proceso de Obtención de Bioalcohol de Residuos del Cultivo de Banano. *Revista Tecnológica ESPOL*, 81-88.
- ARAUJO, J. F. (2011). REQUERIMIENTOS ESTABLECIDOS POR LAS NORMAS ISO PARA PAPELES PERMANENTES. *INFORMACIÓN, CULTURA Y SOCIEDAD*. No. 24, 87-96.
- Badui Dergal, S. (22 de Marzo de 2016). *Química de los Alimentos. Cuarta edición*. Naucalpan de Juárez, Edo. de México: Pearson Educación de México. Obtenido de http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Libro-Badui2006_26571.pdf
- Barba Pacheco, C. (2002). *Síntesis de carboximetilcelulosa (CMC) a partir de pastas de plantas anuales*. Universitat Rovira i Virgili. Departament d'Enginyeria Química.
- Calle Estrada, N. (2014). *ELABORACION DE PAPEL A PARTIR DE FIBRAS VEGETALES NO MADERABLES (PINZOTE DE PLATANO)*. Santa Cruz- Estado Plurinacional de Bolivia. Obtenido de <https://www.dui.uagrm.edu.bo/Informacion/Expociencia2014/1670.pdf>
- CARTONLAB. (Mayo de 2017). *Tipos de cartón y para qué se utilizan*. Obtenido de <https://cartonlab.com/blog/tipos-de-carton-aplicaciones/>
- CASEY. (1990). *Pulpa y Papel, Química y tecnología química. Volumen 1*. México.: Limusa.
- CASEY, J. (1991). *Pulpa y Papel, Química y tecnología química. Volumen 2*. México: Limusa.
- Cedeño Barahona, C. A., & Nieves Condo, C. (Julio de 2015). *PROPUESTA PARA EL RECICLAJE DE LOS DESECHOS DE PIÑA PARA LA FABRICACIÓN DE PRODUCTOS ECOLÓGICOS DE CONSUMO MASIVO EN EL CANTÓN MILAGRO, PROVINCIA DEL GUAYAS EN EL AÑO 2014*. Obtenido de

<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/11124/1/TESIS%20CEDE%20C3%91O-NIEVES%20%28Original%29.pdf>

CONDORI, D. (2010). *EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS QUÍMICAS Y ÓPTICAS DEL PAPEL TIPO GLASSINE OBTENIDO A PARTIR DE FIBRAS DE TOTORA (Schoenoplectus tatora)*". PUNO - PERU: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO.

Departamento Nacional Planeacion. (2004). Cadena Pulpa, Papel e Industria Gráfica. En *Cadenas Productivas Estructura, comercio internacional y protección* (pág. 246). Colombia. Obtenido de <https://www.dnp.gov.co/programas/desarrollo-empresarial/paginas/analisis-cadenas-productivas.aspx>

El Comercio. (25 de Junio de 2011). *En La Maná exportan plátano a dos países*. Obtenido de <http://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/mana-exportan-platano-a-paises.html>

Gonzales, H. (2010). *MERCEOLOGÍA DE PAPEL: Interpretación de los capítulos 47, 48 y 49 del Arancel de Aduanas*. Callao: Arancel de Aduanas del Perú .

Greenpeace. (Febrero de 2006). *El Futuro de la Producción de Celulosa y las técnicas de producción más favorables para el medio ambiente*. Argentina. Obtenido de <http://www.greenpeace.org/argentina/Global/argentina/report/2006/4/el-futuro-de-la-produccion-n-de.pdf>

Grisales Meneses, J. C., & Giraldo Mejía, D. E. (2004). *Empaques biodegradables a partir de fibra de plátano para los productos agrícolas del departamento de Caldas*. Manizales.

Grupo Pochteca. (2015). *Boletín Informativo para la Industria de las Artes Gráficas*. Obtenido de https://www.pochteca.com.mx/wp-content/uploads/2015/01/Boletin_QueNo7_Historico_Informativo.pdf

Haro-Velastegui, A. J. (2017). Análisis sobre el aprovechamiento de los residuos del plátano, como materia prima para la producción de materiales. *Revista científica Dominio de las ciencias*, 506-525. Obtenido de <https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/viewFile/435/pdf>

Hernández, L. M., & Vit, P. (2009). EL PLATANO un cultivo tradicional con importancia nutricional. *Revista del Colegio de Farmacéuticos del Estado Mérida*, 11.

INEN2904. (2015). *PAPEL Y CARTÓN. PAPEL PARA CUADERNOS. REQUISITOS*. Servicio Ecuatoriano de Normalización.

INEN-ISO6865. (2014). *ALIMENTOS PARA ANIMALES. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE FIBRA BRUTA. MÉTODO CON FILTRACIÓN INTERMEDIA (ISO 6865:2000, IDT)*. Quito – Ecuador.

- Jaramillo-Valle, F. (2017). Elaboración de papel vegetal que cumpla las normas TAPPI para el diseño e impresión a partir de la fibra de la cascara del plátano verde. *Pol. Con. (Edición núm. 7) Vol. 2, No 6*.
- Jeproll . (2009). *Plátanos*. Obtenido de <http://www.jeproll.com/platanos-ecuatorianos.php>
- Kirk, R., Sawyer, R., & Egan, H. (1996). *Composición y análisis de alimentos de Pearson, segunda edición*; México: Compañía editorial continental SA de CV.
- Laqui, C. (Junio de 2017). *Propiedades del papel*. Juliaca. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/353540058/Pulpa-y-Papel-Propiedades-Fisicas>
- López, E. (2005). *Fabricacion de pasta de celulosa. Aspectos tecnicos y contaminacion ambiental*. Obtenido de <https://www.palermo.edu/ingenieria/downloads/CyT6/6CyT%2005.pdf>
- López, J. (2007). *Análisis Dinámico de los Rodillos del Sistema de una Máquina de Conversión de Papel Tissue*. San Andrés Cholula, Puebla: Universidad de las Américas Puebla.
- MEJÍA, E. (2000). *Producción de pulpa y papel artesanal de totora*. Investigador Asociado al Centro Nacional de Fibras Naturales PUCE-I.
- MOHAPATRA. (2010). Banana and its by-product utilisation: an overview. *Journal of Scientific and Industrial Research* , 324-325.
- Nielsen. (1998). *Food Analysis Second Edition*. Gaithersburg, Maryland, USA: An Aspen Publication.
- Orozco Collaguazo, A., & Picón Moreno, J. (2011). “*PLAN DE EXPORTACIÓN DE HARINA DE PLATANO DE LA EMPRESA BRITO VACA CIA. LTDA. MOLINO EL FENIX DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA AL MERCADO DE ESTADOS UNIDOS CIUDAD DE MIAMI FL.*”. Obtenido de <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/1790/1/52T00199.pdf>
- Palmira. (11 de Agosto de 2017). *Harina de cáscara de plátano, materia prima para salchichas*. Obtenido de <http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/harina-de-cascara-de-platano-materia-prima-para-salchichas.html>
- Paz, R., & Pesantez, Z. (2013). POTENCIALIDAD DEL PLÁTANO VERDE EN LA NUEVA MATRIZ PRODUCTIVA DEL ECUADOR. *Revista Científica YACHANA*, Vol. 2, No. 2, 203 – 210.
- Reinoso, L. (08 de Marzo de 2009). *La Hora*. Obtenido de Papel a base de plátano.: <https://lahora.com.ec/noticia/847751/home>
- RETEMA. (18 de Mayo de 2016). *Los residuos del cultivo de plátano en Ecuador podrían cubrir el 10% de su demanda de bioetanol*. Obtenido de <https://www.retema.es/noticia/los->

residuos-del-cultivo-de-platano-en-ecuador-podrian-cubrir-el-10-de-su-demanda-de--
qAduw

- RICOH. (2013). *Guía acerca del papel*. Obtenido de http://support.rioh.com/bb_v1oi/pub_e/oi/0001051/0001051806/VD13879XXA_03/D1387944_es.pdf
- Rodríguez, L. (2014). *Elaboración de un material biocompuesto a partir de la fibra de plátano*. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/47022/1/8911502.2014.pdf>
- Salvatore, L. (2006). *Caratterizzazione, tecnologia e conservazione dei manufatti cartacei*. Bologna: Pitagora.
- Solis, A. (Octubre de 2007). *El cultivo de Plátano (genero musa) en México*. Obtenido de <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4956/T16494%20%20SOLIS%20ROSALES,%20%20ADALBERTO%20%20%20TESIS.pdf?sequence=1>
- SORIANO, J., & BARRETO, M. (2018). *“SÍNTESIS Y ESTUDIO DE PROPIEDADES DE CELULOSA BACTERIANA OBTENIDA DE PIÑA Y BANANO, INOCULADOS CON KOMBUCHA.”*. GUAYAQUIL: UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL .
- Teschke, K., & Demers, P. (2001). *INDUSTRIA DEL PAPEL Y DE LA PASTA DE PAPEL*. Obtenido de <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo3/72.pdf>
- TORRES, M. (2000). *ORMALIZACION DEL PROCESO DE ELABORACION DE PAPEL ARTESANAL A PARTIR DE TALLOS DE MAIZ (ZEA MAYZE)*. CHIA, CUNDINAMARCA: UNIVERSIDAD DE LA SABANA.
- UNIT-ISO6588. (1998). *Papel, cartón y pastas celulósicas. Determinación del pH de extractos acuosos*. Obtenido de UNIT-ISO: <https://www.unit.org.uy/normalizacion/norma/604/>
- Vézina, A. (22 de Julio de 2016). *Morfología de la planta del banano*. Obtenido de Promusa: <http://www.promusa.org/Morfolog%C3%ADa+de+la+planta+del+banano>