



**UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO**  
**FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**CARRERA INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

Proyecto de Investigación previo a la  
obtención del título de Ingeniera  
Agroindustrial

**Proyecto de Investigación**

**Evaluación de la calidad del cartón obtenido a partir del pseudotallo y  
raquis  
de la *musa acuminata cavendish* (banano)**

**Autor**

Zamora Bustillos Jessandra Gabriela

**Director de Proyecto de Investigación**

Ing. MsC. Azucena Bernal Gutiérrez

**Quevedo - Los Ríos – Ecuador**

**2017**



## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS**

Yo, **Zamora Bustillos Jessandra Gabriela**, declaro que la investigación aquí descrita es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este documento, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

f. \_\_\_\_\_

**Zamora Bustillos Jessandra Gabriela**

**C.C. # 0503419137**



## **CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

El suscrito, Ing. Azucena Elizabeth Bernal Gutiérrez, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que la estudiante Zamora Bustillos Jessandra Gabriela, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado “EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL CARTÓN OBTENIDO A PARTIR DEL PSEUDOTALLO Y RAQUIS DE LA *Musa acuminata cavendish* (BANANO)”, previo a la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

---

Ing. MsC. Azucena Bernal Gutiérrez.

**DIRECTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**



## CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO

Ing. MsC. Azucena Bernal Gutiérrez Directora Del Proyecto De Investigación titulado “EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL CARTÓN OBTENIDO A PARTIR DEL PSEUDOTALLO Y RAQUIS DE LA *Musa acuminata cavendish* (BANANO)” me permito manifestar a usted y por intermedio al Consejo Académico de Facultad lo siguiente:

Que, el estudiante egresado de la Facultad Ciencias de la Ingeniería, ha cumplido con las correcciones, e ingresado su Proyecto de Investigación al sistema URKUND, tengo a bien de certificar la siguiente información sobre el informe del sistema anti plagio con un porcentaje de 2%

The screenshot displays the URKUND interface with the following information:

Documento	<a href="#">Proyecto Gabriela Urkund.docx</a> (D31559163)
Presentado	2017-10-22 21:16 (-05:00)
Presentado por	abernal@uteq.edu.ec
Recibido	abernal.uteq@analysis.arkund.com
Mensaje	<a href="#">Mostrar el mensaje completo</a>

2% de estas 25 páginas, se componen de texto presente en 3 fuentes.

---

**Ing. MsC. Azucena Bernal Gutiérrez**  
**DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**



# UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

## FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

### CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

#### PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

##### **Título**

“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL CARTÓN OBTENIDO A PARTIR DEL PSEUDOTALLO Y RAQUIS DE LA *Musa acuminata cavendish* (BANANO)”

Presentado al Consejo Académico de Facultad como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial.

Aprobado por:

---

Ing. José Villarroel Bastidas

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

---

Ing. Andrea Cortez Espinoza

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

---

Ing. Robert Moreira Macías

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

**QUEVEDO – LOS RÍOS – ECUADOR**

**2017**

## **AGRADECIMIENTO**

Mi agradecimiento más profundo en primera instancia va para el ser que me inspira esperanza e ilumina siempre hasta el más oscuro camino, Dios. Que me ha sabido llenar de sabiduría para tomar las mejores elecciones en los pasos que he dado hasta hoy.

Los seres que más amo y admiro en el mundo, por siempre estar a mi lado apoyándome en mis caídas, alentándome a no darme por vencida nunca, a celebrar sinceramente mis triunfos, a darme todo lo que he necesitado aun cuando en ocasiones no han tenido los medios suficientes y que sobre todas las cosas han demostrado que, con sacrificio todo se lleva a cabo en la vida, MIS EXTRAORDINARIOS PADRES.

A mi padre, Jaime Zamora: mi súper man, por amarme tal y como soy, y recalcar me siempre que con humildad, esfuerzo y sencillez se llega siempre lejos.

A mi madre, Yoconda Bustillos Guerra: por hacer de mí una mujer de bien, por su dedicación y amor... este triunfo es de las dos.

A alguien que amo más que a mi vida, por estar siempre apoyando mi camino para lograr mis metas, porque con el sólo hecho de saber que existe, me impulsa a querer ser mejor persona y superarme como profesional dando un buen ejemplo, mi hermanito, Andrés Zamora Bustillos.

A mi tutora, la Ingeniera Azucena Bernal Gutiérrez por su respaldo en todo lo que ha estado a su alcance. A mi querida Universidad Técnica Estatal de Quevedo y a los Ingenieros, José Villarroel, Sonia Barzola y Juan Barreno; por impartir sus acertados conocimientos y experiencias tanto de vida como laborales, para formarme como una Profesional de la carrera que sepa desenvolverse en todos los ámbitos de esta.

A todos mis familiares y amigos, que me acompañaron en otra etapa más de mi vida alentándome en cada momento. Y a mi amigo, enamorado y colega; Braulio.

Y por supuesto el mayor de los agradecimientos a ti, Gabriela Zamora, por no perder la cordura en los malos momentos suscitados.

**Zamora Bustillos Jessandra Gabriela**

## **DEDICATORIA**

Este gran logro va dedicado a mi adorado y eternamente recordado Víctor Bustillos Viera, mi abuelito, aquel hombre que siempre insistió en que prepararse con los estudios será lo mejor que podemos llegar a poseer. Lo logramos papá.

A mi abuelita, Amada Guerra con mucho cariño en donde quiera que estés.

Por supuesto a mis amados padres y hermano, por ustedes estoy aquí.

A ti Gabriela, por tu paciencia y esfuerzo para levantarte más fuerte en cada tropiezo; por no renunciar a tu meta trazada y sobre todo por no dejar de creer en ti.

*Gabriela Zamora Bustillos*

## RESUMEN

La necesidad de contribuir a disminuir la contaminación ambiental y al mismo tiempo contar con un cartón elaborado de fibra no maderera y extraída de residuos agroindustriales que se generan en altas masas, ha sido foco de motivación para este proyecto de investigación, dando una segunda oportunidad a los residuos generados en las actividades agrícolas de la *Musa acuminata Cavendish* (banano), pseudotallo y raquis, y comprobar si estos residuos producirán un cartón con características aceptables, similares al obtenido de fibra maderera. Se analizaron dos tipos de materia prima (Factor A), pseudotallo (tallo central de la planta de banano) y raquis (centro leñoso del racimo de banano) que fueron acondicionados y reducidos de tamaño ( 2000 g de muestra de cada una en un volumen de agua de 10 litros), aplicando hipoclorito de sodio/lejía ( al 50% Na(OH) ) como ablandador al llegar el agua a su punto de ebullición (100°C) en dos diferentes concentraciones: factor B ( 15% y 20%) para extraer la fibra, con dos tiempos de cocción: factor C(60 minutos y 90 minutos); se estructuró la investigación mediante un diseño experimental factorial AxBxC, de 8 tratamientos con dos repeticiones, que permitió determinar los mejores tratamientos. El análisis de datos se efectuó con el software de paquetes estadísticos STATGRAPHICS CENTURION XVI, para definir parámetros y comprobar significancia se estudiaron variables como pH del licor de cocción que es fundamental en la permanencia de cartón, gramaje, espesor, humedad, absorción de agua Cobb, cenizas y absorción de agua en papeles porosos. La investigación concluye que los subproductos reutilizados de la industria bananera poseen viabilidad para la obtención de cartón, diferentes tipos y usos. Los resultados demuestran que con el raquis obtienen mejores características en cuanto a cartones de alto gramaje con  $770 \text{ g/m}^2$  a  $1190 \text{ g/m}^2$ , con mínima absorción de agua.

**Palabras Claves:** Desechos, agroindustriales, ablandador, fibra, pulpa celulósica.

## **ABSTRACT**

The need to contribute to reduce environmental pollution and at the same time have an elaborated cardboard of non-wood fiber and extracted from agroindustrial residues that are generated in high masses, has been a motivating focus for this research project, giving a second chance to the residues generated in the agricultural activities of *Musa acuminata* Cavendish (banana), pseudotallo and rachis, and to verify if these residues will produce a cardboard with acceptable characteristics, similar to that obtained from wood fiber. Two types of raw material (Factor A), pseudotallo (central stem of the banana plant) and rachis (woody center of the banana cluster) were analyzed and sized (2000 g of each sample in one volume of water of 10 liters), applying bleach (to 50% Na (OH)) when the water reaches its boiling point (100 ° C) in two different concentrations of softener: factor B (15% and 20%) to extract the fiber, with two cooking times: factor C (60 min and 90 min); the research was structured using an AxBxC experimental design of 8 treatments with two replicates, which allowed the determination of the best treatments. The data analysis was carried out using statistical software STATGRAPHICS CENTURION XVI, in order to define parameters and verify the significance of variables such as pH of the cooking liquor, which is fundamental in the permanence of cardboard, grammage, thickness, humidity, water absorption Cobb, ash and water absorption in porous papers. The research concludes that the reused by-products of the banana industry have viability for obtaining cardboard, different types and uses. The results show that with the rachis it has better characteristics in terms of heavy weight cartons with 770 g / m<sup>2</sup> to 1190 g / m<sup>2</sup>, with minimal water absorption.

**Keywords:** Waste, agroindustrial, softener, fiber, pulp cellulosic.

## TABLA DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	i
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	ii
CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRAC.....	viii
ÍNDICE DE TABLA.....	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
INTRODUCCION.....	1
CAPÍTULO I. MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN	
1.1. Problema de investigación.....	3
1.1.1. Planteamiento del Problema.....	3
1.1.2. Formulación del Problema.....	4
1.1.3. Sistematización del Problema.....	4
1.2. Objetivos.....	5
1.2.1. Objetivo General.....	5
1.2.2. Objetivos Específicos.....	5
1.2.3. Justificación.....	6
1.3. Hipótesis.....	7
1.3.1. Hipótesis nula.....	7
1.3.2. Hipótesis alternativa.....	7
CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	
2.1. Marco Conceptual.....	9
2.1.1. Residuos agroindustriales.....	9
2.1.3. Origen del banano.....	9

2.1.4.	Clasificación taxonómica.....	9
2.1.5.	Características del banano.....	10
2.1.6.	Variedades de banano.....	10
2.1.7.	Usos del banano.....	11
2.1.8.	Residuos agrícolas de banano.....	11
2.1.9.	Pseudotallo.....	12
2.1.10.	Raquis.....	12
2.1.11.	Hipoclorito de sodio (Lejía).....	12
2.1.12.	Origen del hipoclorito de sodio (lejía).....	13
2.1.13.	Usos.....	13
2.1.14.	Efectos sobre el medio.....	13
2.1.15.	Composición básica del hipoclorito de sodio (lejía) a usar.....	13
2.1.16.	Cartón.....	14
2.1.17.	Fibras de cartón.....	14
2.2.	Marco Referencial.....	14
2.2.1.	Descripción de las fibras para papel.....	14
2.2.2.	Fibras no madereras.....	15
2.2.3.	Fibras de residuos agrícolas.....	16
2.2.4.	Parámetros en el proceso de desfibrado.....	16
2.2.5.	Pulpeo.....	17
2.2.6.	Pulpa celulósica.....	17
2.2.7.	Proceso de pulpeo.....	17
2.2.8.	Pulpeo químico.....	18
2.2.9.	Pulpeo con plantas no madereras.....	18
2.3.	Impacto ambiental de la industria papelera.....	18
2.4.	Lignina.....	19
2.5.	El pH del papel.....	19
2.6.	Normas relacionadas al proyecto de investigación.....	20
2.6.1.	Determinación del gramaje. Calidad del cartón. NTE INEN- ISO 536:2013.....	20
2.6.2.	Determinación de la humedad. TAPPI 412.....	20
2.6.3.	Determinación del espesor. Calidad del cartón. NTE INEN 1399.....	20

2.6.4.	Determinación de la absorción del agua en papeles y cartones. Ensayo de Cobb. NTE INEN 1400.....	21
2.6.5.	Determinación de la absorción del agua en papeles porosos. Papeles y cartones. NTE INEN 1407 (1986).....	21
2.6.6.	Determinación de cenizas. TAPPI 211.....	21

### CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.	Localización.....	23
3.2.	Tipo de Investigación.....	23
3.3.	Métodos de la investigación.....	24
3.4.	Fuente de recopilación de información.....	25
3.5.	Diseño de la investigación.....	25
3.5.1.	Factores de estudio.....	25
3.6.	3. Diseño estadístico de la investigación.....	26
3.6.1.	Tratamientos de la investigación.....	26
3.6.2.	Variables de estudio.....	27
3.7.	Instrumentos de la investigación.....	27
3.7.1.	Manejo del Experimento.....	27
3.7.2.	Análisis fisicoquímicos.....	29
3.8.	Tratamientos de los datos.....	31
3.9.	Recursos Materiales.....	31
3.9.1.	Materiales y equipos.....	31

### CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Resultados de la obtención de pulpa celulósica para la evaluación de calidad del cartón a base de pseudotallo y raquis de banano.....	36
4.1.1.	Análisis de Varianza de pH.....	36
4.1.2.	Análisis de Varianza de Gramaje.....	36
4.1.3.	Análisis de varianza del espesor.....	37
4.1.4.	Análisis de varianza de la humedad.....	38
4.1.5.	Análisis de varianza de la absorción de agua por el método Cobb.....	38
4.2.	Resultados de la prueba de significación (Tukey $p < 0,05$ ) con respecto a los factores de estudio para los análisis fisicoquímicos.....	39

4.2.1.	Valoración de los resultados del pseudotallo y raquis .....	39
4.2.1.1	Resultados con respecto al licor de cocción.....	39
4.2.1.2	Resultados con respecto al producto obtenido.....	40
4.2.2.	Determinación de los resultados la concentración de hipoclorito de sodio (lejía).....	42
4.2.3.	Establecimiento de los resultados el tiempo de cocción en el ablandamiento de la fibra.....	45
4.2.4.	Determinación de los resultados de las características físicas y químicas del tipo de cartón obtenido .....	47
4.3.	Discusión.....	51
4.3.1.	Discusión de resultados con respecto al factor A (tipo de materia prima).....	51
4.4.	Tratamiento de Hipótesis.....	53
 CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		
5.1.	Conclusiones.....	55
5.2.	Recomendaciones.....	58
6.1.	Bibliografía.....	61

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		Pág
1	Taxonomía del banano.....	10
2	Composición de la Lejía utilizada.....	13
3	Descripción de los factores de estudio que intervienen en el proceso de ablandamiento de la fibra no maderable del pseudotallo y raquis del banano para la obtención de cartón.....	23
4	Esquema del análisis de varianza.....	24
5	Factores de estudio que intervienen en el proceso de obtención del cartón.	25
6	Materiales, equipos y reactivos utilizados en la obtención de cartón a partir de pseudotallo y raquis de banano.....	30
7	Materiales, equipos y reactivos utilizados en la medición del pH.....	31
8	Materiales, equipos y reactivos utilizados en la medición de gramaje.....	31
9	Materiales, equipos y reactivos utilizados en la medición de la humedad...	31
10	Materiales, equipos y reactivos utilizados en la medición del espesor....	31
11	Materiales, equipos y reactivos utilizados en la medición de absorción de agua Cobb.....	32
12	Materiales, equipos y reactivos utilizados en la determinación de cenizas.	32
13	Materiales, equipos y reactivos utilizados en la medición de absorción de agua en papeles porosos.....	32
14	Descripción de la simbología del diagrama.....	55
15	Análisis de varianza para el pH en la pulpa celulósica.....	36
16	Análisis de varianza del gramaje.....	37
17	Análisis de varianza del espesor del cartón.....	37
18	Análisis de varianza de la humedad del cartón.....	38
19	Análisis de varianza de la absorción de agua por el método Cobb.....	38
20	Tipos de cartón con respecto a sus características y su aplicación.....	47
21	Tipos de cartón con respecto a sus características y su aplicación.....	49
22	Tipos de cartón con respecto a sus características y su aplicación.....	50
23	Valores de las medias del Factor A .....	58
24	Valores de las medias del Factor B.....	58
25	Valores de las medias del Factor C.....	58

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico</b>		<b>Pág.</b>
1	Resultados de la diferencia de medias entre los tipos de materia prima utilizada (pseudotallo y raquis de banano) de la prueba de significación Tukey ( $p < 0,05$ ). Ph.....	40
2	Resultados de la diferencia de medias entre los tipos de materia prima utilizada (pseudotallo y raquis de banano) de la prueba de significación Tukey ( $p < 0,05$ ). Gramaje.....	42
3	Resultados de la diferencia de medias entre los tipos de materia prima utilizada (pseudotallo y raquis de banano) de la prueba de significación Tukey ( $p < 0,05$ ). Espesor.....	41
4	Resultados de la diferencia de medias entre los tipos de materia prima utilizada (pseudotallo y raquis de banano) de la prueba de significación Tukey ( $p < 0,05$ ). Humedad.....	42
5	Resultados de la diferencia de medias entre las concentraciones de ablandador utilizado (15% y 20%) de la prueba de significación Tukey ( $p < 0,05$ ). 1. Gramaje; 2. Espesor; 3. Absorción de agua por el método Cobb; 4. Absorción de agua en papeles porosos.....	42
6	Resultados de la diferencia de medias entre las concentraciones de ablandador utilizado (15% y 20%) de la prueba de significación Tukey ( $p < 0,05$ ). 1.pH; 2. Humedad; 3. Cenizas.....	44
7	Resultados de la diferencia de medias entre los tiempos de cocción utilizados (60 minutos y 90 minutos) de la prueba de significación Tukey ( $p < 0,05$ ). 1. Gramaje; 2. Espesor; 3. Absorción de agua por el método Cobb; 4. Absorción de agua en papeles porosos.....	45

## ÍNDICE DE ANEXO

<b>Anexo</b>		<b>Pág.</b>
1	Diagrama de flujo de proceso para la obtención de cartón a escala artesanal.....	66
2	Diagramas de flujo para la elaboración de cartón artesanal.....	67
3	Flujogramas de proceso para la elaboración de cartón artesanal .....	68
4	Datos de los análisis realizados a los tratamientos.....	69
5	Tabla de medias del Factor A (Materia prima), del Factor B (Porcentaje de ablandador: hipoclorito de sodio) y Factor C (Tiempo de cocción).....	70
6	Recepción y acondicionamiento de los subproductos (pseudotallo y raquis) utilizados como materia prima en la obtención de cartón.....	71
7	Pesado y troceado de los subproductos (pseudotallo y raquis) utilizados como materia prima en la obtención de cartón.....	72
8	Cocción y aplicación del ablandador (hipoclorito de sodio) de fibra de los subproductos (pseudotallo y raquis) .....	72
9	Análisis de pH en el licor de cocción y lavado de la fibra .....	73
10	Licuada de la fibra y obtención de pasta celulósica.....	74
11	Moldeo y prensado de la pasta celulósica para la obtención de cartón.....	75
12	Análisis físicos del producto final: cartón .....	76

13	Certificación del laboratorio de suelos.....	79
14	Certificación de la empresa grupo CARTOPEL.....	80
15	Norma INEN 1400. Papeles y cartones. Determinación de la absorción del agua en papeles y cartones (no porosos) encolados (ensayo de Cobb).....	81
16	Norma TAPPI 211. Determinación de Ceniza en madera, pulpa, papel y cartón: combustión a 525 °C.....	86

## CÓDIGO DUBLÍN

Título:	Evaluación de la calidad del cartón obtenido a partir del pseudotallo y raquis de la <i>Musa acuminata cavendish</i> (banano)
Autor:	Zamora Bustillos Jessandra Gabriela
Palabras clave:	Desechos   Agroindustriales   Ablandador   Fibra   Pulpa
Editorial:	Quevedo: Universidad Técnica Estatal de Quevedo, 2017
Resumen:	<p>La necesidad de contribuir a disminuir la contaminación ambiental y al mismo tiempo contar con un cartón elaborado de fibra no maderera y extraída de residuos agroindustriales que se generan en altas masas, ha sido foco de motivación para este proyecto de investigación, dando una segunda oportunidad a los residuos generados en las actividades agrícolas de la <i>Musa acuminata Cavendish</i> (banano), pseudotallo y raquis, y comprobar si estos residuos producirán un cartón con características aceptables, similares al obtenido de fibra maderera.</p> <p>Se analizaron dos tipos de materia prima (Factor A), pseudotallo (tallo central de la planta de banano) y raquis (centro leñoso del racimo de banano) que fueron acondicionados y reducidos de tamaño ( 2000 g de muestra de cada una en un volumen de agua de 10 litros), aplicando lejía ( al 50% Na(OH) ) como ablandador al llegar el agua a su punto de ebullición (100°C) en dos diferentes concentraciones: factor B ( 15% y 20%) para extraer la fibra, con dos tiempos de cocción: factor C(60 minutos y 90 minutos); se estructuró la investigación mediante un diseño experimental factorial AxBxC, de 8 tratamientos con dos repeticiones, que permitió determinar los mejores tratamientos. El análisis de datos se efectuó con el software de paquetes estadísticos STATGRAPHICS CENTURION XVI, para definir parámetros y comprobar significancia se estudiaron variables como pH del licor de cocción que es fundamental en la permanencia de cartón, gramaje, espesor, humedad, absorción de agua Cobb, cenizas y absorción de agua en papeles porosos. La investigación concluye que los subproductos reutilizados de la industria bananera poseen viabilidad para la obtención de cartón, diferentes tipos y usos. Los resultados demuestran que con el raquis obtien mejores características en cuanto a cartones de alto gramaje con 770 g/m<sup>2</sup> a 1190 g/m<sup>2</sup>, con mínima absorción de agua.</p> <p><b>Abstract</b></p> <p>The need to contribute to reduce environmental pollution and at the same time have an elaborated cardboard of non-wood fiber and extracted from agroindustrial residues that are generated in high masses, has been a motivating focus for this research project, giving a second chance to the residues generated in the agricultural activities of <i>Musa acuminata Cavendish</i> (banana), pseudotallo and rachis, and to verify if these residues will produce a cardboard with acceptable characteristics, similar to that obtained from wood fiber.</p> <p>Two types of raw material (Factor A), pseudotallo (central stem of the banana plant) and rachis (woody center of the banana cluster) were analyzed and sized (2000 g of each sample in one volume of water of 10 liters), applying bleach (to 50% Na (OH)) when the water reaches its boiling point (100 ° C) in two different concentrations of softener: factor B (15% and 20%) to extract the fiber, with two cooking times: factor C (60 min and 90 min); the research was structured using an AxBxC experimental design of 8 treatments with two replicates, which allowed the determination of the best treatments. The data analysis was carried out using statistical software STATGRAPHICS CENTURION XVI, in order to define parameters and verify the significance of variables such as pH of the cooking liquor, which is fundamental in the permanence of cardboard, grammage, thickness, humidity, water absorption Cobb, ash and water absorption in porous papers. The research concludes that the reused by-products of the banana industry have viability for obtaining cardboard, different types and uses. The results show that with the rachis it has better characteristics in terms of heavy weight cartons with 770 g / m<sup>2</sup> to 1190 g / m<sup>2</sup>, with minimal water absorption.</p>
Descripción:	90 hojas: dimensiones, 29 x 21 cm + CD-ROM 6162
URI:	(en blanco hasta cuando se dispongan los repositorios)

## INTRODUCCION

La producción agrícola es una de las principales fuentes de generación de residuos agroindustriales; por ejemplo, uno de los retos que enfrentan los países productores de banano es la eliminación de los residuos orgánicos originados en la producción, selección y empaque del fruto [1]

El plátano pertenece a la familia de las Musáceas, son nativas del sudeste asiático, y comprende dos especies: *Musa cavendish* (Bananos) y *Musa paradisiaca* (plátanos) [2]. Por lo general cuando se cosecha el racimo de banano, se estima que sólo se está utilizando del 20 al 30% de su biomasa [3], quedando de un 70 a 80% por utilizar, lo que ha generado una de las principales problemáticas ambientales, puesto que en la mayoría de los casos son incinerados o vertidos a los causes receptores sin tratamiento previo, contribuyendo a la degradación del ecosistema; aunque, algunos productores aprovechan los residuos en la plantación en forma de abono verde y alimentación animal [4]. En ésta investigación se utilizarán los residuos provenientes de la industria bananera, el pseudotallo y raquis de la especie *Musa acuminata cavendish* (banano) para la obtención de cartón.

La investigación busca el aprovechamiento integral sustentable de especies vegetales fibrosas no maderables que se desarrollan en la industria bananera del país, para que los residuos postcosecha de la *Musa acuminata cavendish* ya no tenga uso sólo como abono, sino un valor como materia prima para obtener un producto industrializable como el cartón. Esto traería beneficios considerables al medio ambiente debido a que al aprovecharse el pseudotallo y raquis para la elaboración de cartón, conllevaría a incentivar a los productores de banano para que sean los proveedores principales de la materia prima, lo que a su vez permitiría cubrir la demanda de cartón, ayudar a disminuir la deforestación y un incremento en la actividad económica por el ingreso extra que se dará con esta alternativa.

El método central para la obtención de cartón es la cocción de los residuos de la *Musa acuminata* ya mencionados, en la etapa de ablandamiento de las fibras no leñosas que llegue a presentar características óptimas finales parecidas al cartón comúnmente obtenido de fibra maderera, ya que el contenido de celulosa que contienen dichas fibras alcanzan un porcentaje considerable.

**CAPÍTULO I**  
**MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN**

## **1.1. Problema de investigación**

### **1.1.1. Planteamiento del Problema**

La gran demanda actual de cartón in creciente día a día, sitúa a los bosques en una encrucijada con el medio ambiente ya que, para la producción de este, se necesita de madera, la proveedora habitual de pulpas celulósicas. Las actividades industriales papeleras están causando una tala masiva de bosques, lo que está trayendo consecuencias a la biodiversidad de fauna, al equilibrio climático, fenómeno meteorológicos cada vez más intensos entre otros. De aquí el uso de otras fuentes celulósicas para la obtención de cartón, que no sean las habituales.

En muchos países no siempre se opta por darles un valor agregado o que se conviertan en un subproducto a los desechos que quedan en las bananeras, causando una contaminación al ambiente; o si lo hacen en su mayoría estos subproductos de la *Musa acuminata cavendish* son utilizados como abono de las mismas plantaciones o como alimento animal, aunque estas acciones no quieren decir que estén siendo mal empleados. Por dicha situación, se ha llevado a cabo investigaciones de la reutilización de los residuos agroindustriales que se producen en el comercio del banano orientado a la obtención de un cartón ecológico.

Ecuador al ser un país con gran producción de banano es generador de desechos provenientes del mismo, que contaminan el medio ambiente los cuales pueden ser bien aprovechados en la industria de papel y cartón, al hacerlo se contribuye al medio ambiente. El pseudotallo y raquis del banano representan una fibra considerable para la obtención de una pulpa celulósica necesaria para la producción de cartón.

Los dueños de las industrias bananeras pueden llegar a impulsar esta alternativa que favorece al medio ambiente, a ellos mismos y al crecimiento económico de la sociedad.

### **Diagnóstico**

Por las razones que preceden y además para minimizar la deforestación de nuestro entorno ecológico, se menciona esto debido a que con los subproductos originados de la *Musa acuminata cavendish* como el raquis y pseudotallo se pretende la elaboración de un cartón ecológico; es decir, el aprovechamiento de fibras no maderables.

Se debe tener en cuenta además que la etapa de ablandamiento en el proceso de obtención de cartón es un punto crítico, en donde se evaluarán diferentes porcentajes del ablandador de fibra ya que no siempre se tienen resultados favorables como se espera. El problema que se pretende estudiar es que el producto químico y el tiempo de cocción que no se van a aplicar en la materia prima tengan un efecto positivo en cuanto a la deslignificación; es decir separar la lignina que contienen los residuos agroindustriales de las fibras de celulosa y así se obtenga un rendimiento considerable de pasta celulósica para la obtención del cartón.

### **Pronóstico**

La limitada utilización de subproductos provenientes de la agroindustria y el empleo de fibras vírgenes de bosques y plantaciones ilegales en zonas protegidas contribuye cada vez más a la contaminación ambiental y uso indiscriminado de materia prima no autorizada, si las empresas agrícolas y agroindustriales no empiezan a preocuparse por esta situación se prevé un futuro negativo ambiental, además si no se investigan las operaciones unitarias para obtener papel conllevaría como resultado un producto carente de la calidad adecuada.

### **1.1.2. Formulación del Problema**

¿Cuál sería el tipo de materia prima más óptimo proveniente de los residuos de banano (pseudotallo y raquis) a utilizar para obtener un cartón que cumpla los estándares de calidad aplicados en la industria cartonera, así mismo evaluar el producto obtenido para conocer de qué tipo es?

### **1.1.3. Sistematización del Problema**

Los residuos provenientes de la actividad agrícola del banano contienen fibra con características potenciales para la obtención de pulpa celulósica y la posterior obtención de cartón. Sin embargo, estos residuos a emplear pueden diferir en el resultado ya que varían en sus propiedades, el pseudotallo y raquis del banano.

En la obtención de un cartón a base de fibras no leñosas se debe poner énfasis en las variables y parámetros a aplicar, la calidad de la pulpa celulósica es uno de los principales inconvenientes en cuanto a la vida útil de un cartón. Puede llegar a establecer la posterior línea de producción para obtener cartón.

En cuanto a los factores como el tiempo que dura la cocción de la fibra y las concentraciones de ablandador, que se aplican con el fin de un desfibrado óptimo que sea capaz de separar la celulosa de la lignina y demás componentes, presentes en la fibra del pseudotallo y raquis del banano, van a repercutir en el producto final. Las propiedades físicas pueden dar indicios del tipo de cartón a obtenerse, propiciando el uso de este en diferentes medios en el mercado cartonero con características aceptables.

¿De acuerdo al tipo de materia prima empleada, se verán influenciadas las características físico químicas del cartón?

¿Cuál será el porcentaje (15%-20%) de hipoclorito de sodio (lejía) que brinde mejores resultados para la producción de cartón?

¿Bajo qué tiempo de cocción, se ablandará mejor la fibra del pseudotallo y raquis?

¿Qué tipo de cartón se llegará a obtener con los factores de estudio y metodología propuestos?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General**

Evaluar la calidad del cartón obtenido a partir de pseudotallo y raquis de la *Musa acuminata cavendish* (banano) aplicando hipoclorito de sodio (lejía) como ablandador.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- ✓ Valorar el residuo (pseudotallo y raquis) que proporciona mejores características físicas-químicas en la obtención de un cartón de buena calidad.
- ✓ Determinar la concentración de hipoclorito de sodio (lejía) que proporcione mejores características en el ablandamiento de la fibra de la materia prima.
- ✓ Establecer el tiempo de cocción en el ablandamiento de la fibra que imprima las mejores características de calidad en el producto final.
- ✓ Determinar las características físicas-químicas y el tipo de cartón que se obtendrá utilizando la metodología de la presente investigación.

### 1.2.3. Justificación

La elaboración de cartón con otras fibras celulósicas que no sean las provenientes de la madera se han convertido en una alternativa factible, limpia con el medio ambiente y a suplir la enorme demanda de este producto.

Se pretende aprovechar los residuos de la *Musa acuminata cavendish* (pseudotallo y raquis del banano), sin contaminar el medio ambiente y por ende darles una segunda oportunidad a dichos residuos que se desperdician después de la potscosecha del banano. Con la elaboración de un nuevo producto derivado de la planta de banano, y brindar una nueva alternativa de comercialización en la industria tanto bananera como cartonera.

El enfoque de la investigación, es en la etapa de ablandamiento del proceso de elaboración del cartón; de este modo permitiendo obtener e innovar, un producto final alternativo con características similares al cartón que se obtiene de las fibras de madera. Además, en nuestro país no existen muchos estudios acerca de la obtención de cartón a partir de fibras no maderables como el raquis y pseudotallo de la *Musa acuminata Cavendish*. La elaboración de cartón con los residuos que genera la industria bananera contribuye enormemente al mejoramiento del medio ambiente. Al finalizar la investigación se conocerá el tipo de cartón que se llegará a obtener, basándose en las normas de calidad, se establecerá los parámetros arrojados en las pruebas físico-mecánicas y químicas del producto final.

Finalmente, el propósito que se persigue como principal objetivo en esta investigación es que pueda obtener un cartón ecológico a base del pseudotallo y raquis de banano colocando énfasis en la etapa de ablandamiento y los porcentajes de ablandadores que contribuyan a un mejor acabado final del producto, con el fin de que todo esto ayude a disminuir el impacto ambiental. Cabe mencionar que se utilizará hipoclorito de sodio (lejía) como ablandador de la fibra ya que el uso o adquisición de otros productos está más restringido y se tiene poco alcance, además aumentaría la contaminación para el medio ambiente con las aguas residuales que se generan en el proceso. Siendo una alternativa más noble y económica, en la obtención de cartón.

### 1.3. Hipótesis

#### 1.3.1. Hipótesis nula

- ✓  $H_0$ = El tipo de materia prima (pseudotallo y raquis) **no influirá** en la calidad del cartón.
- ✓  $H_0$ = Los porcentajes de ablandador **no influirán** en la calidad final del cartón obtenido del pseudotallo y raquis.
- ✓  $H_0$ = El tiempo de cocción **no influirá** en la calidad final del cartón obtenido del pseudotallo y raquis.

#### 1.3.2. Hipótesis alternativa

- ✓  $H_a$ = El tipo de materia prima (pseudotallo y raquis) **influirá** en la calidad de cartón.
- ✓  $H_a$ = Los porcentajes de ablandador **influirán** en la calidad final del cartón obtenido del pseudotallo y raquis.
- ✓  $H_a$ = El tiempo de cocción **influirá** en la calidad final del cartón obtenido del pseudotallo y raquis.

**CAPITULO II**  
**FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN**

## **2.1. Marco Conceptual**

### **2.1.1. Residuos agroindustriales**

Los residuos agroindustriales son materiales en estado sólido o líquido que se generan a partir del consumo directo de productos primarios o de su industrialización, y que ya no son de utilidad para el proceso que los generó, pero que son susceptibles de aprovechamiento o transformación para generar otro producto con valor económico, de interés comercial y/o social [5].

### **2.1.2. Banano**

La planta de banano pertenece a las Musáceas y su nombre científico es *Musa paradisiaca*. El nombre "banano" es originario de África y se originó en el sureste asiático e Indochina. La planta alcanza una altura de 2 m a 3 m y un fuste de unos 20 cm de diámetro [6].

El banano pertenece a la familia de las Musáceas y en conjunto es uno de los principales cultivos ubicado entre los cuatro principales productos cultivados a nivel mundial y crece principalmente en los trópicos y subtropicos [7].

### **2.1.3. Origen del banano**

El banano procede de las regiones del sudeste de Asia y del pacifico en cuyos bosques de vegetación natural pueden encontrarse todavía ejemplares ancestrales diploides, no comestibles y con semillas. A lo largo de numerosos años varias subespecies de diploides de *Musa Acuminata* se cruzaron de forma espontánea dando lugar a la producción de numerosos híbridos interespecíficos [8].

### **2.1.4. Clasificación taxonómica**

De acuerdo al National Center for Biotechnology Information, la clasificación taxonómica del banano es la siguiente:

**Tabla 1. Taxonomía del banano.**

<b>Taxonomía</b>	
<b>Reino:</b>	Plantae
<b>División:</b>	Magnoliophyta
<b>Clase:</b>	Liliopsida
<b>Orden:</b>	Zingiberales
<b>Familia:</b>	Musaceae
<b>Género:</b>	Musa
<b>Especie:</b>	M. acuminata

**Fuente:** National Center for Biotechnology Information

**Elaborado por:** Zamora, G. (2017)

### **2.1.5. Características del banano**

El sistema radicular de la planta de banano es adventicio. Está compuesto por un eje radicular el cual produce las raíces primarias, a partir de ellas se desarrollan las secundarias. Así también el pseudotallo está formado por vainas envolventes de las hojas. La principal función del pseudotallo es soportar el peso de las hojas y las inflorescencias. Por otro lado, el fruto se caracteriza botánicamente como una cereza con pericarpio. El fruto se forma partiendo de los ovarios de las flores postiladas que muestran un gran aumento en volumen. La forma del fruto varía con el cultivar y el color es generalmente amarillo [9].

### **2.1.6. Variedades de banano**

**Las variedades más sembradas en Ecuador son:**

#### **Musa Acuminata Cavendish**

La variedad más común de bananos consumidos como fruta fresca, compotas, ensaladas de frutas, repostería, y como complemento alimenticio. Su tamaño suele ser de 6 hasta 10 pulgadas de longitud. La piel exterior es parcialmente verde cuando se venden en los mercados y se vuelve amarillo cuando madura. Los plátanos maduran de forma natural y están en su pico de maduración, cuando la cáscara es de color amarillo intenso y comienzan a aparecer algunas manchas de color marrón [10]. La *Musa cavendish*, supone el 70% de la producción del género. Sus frutos, previa maduración natural o inducida (técnicamente son las llamadas bananas), y se consumen en todo el mundo como fruta fresca [10].

**Gross Michel (Musa Acuminata):** Variedad de porte muy alto, produce frutos de excelente calidad, aunque de sabor ligeramente áspero cuando no está plenamente maduro, y muy sensible al viento [11].

**Lacatán o Valery (Musa Acuminata):** Planta de porte muy alto que sustituyó a la variedad ‘Gros Michel’ por su resistencia al *F. oxysporum*, sus frutos son de gran calidad, pero su ciclo vegetativo es muy largo [11].

**Orito (Musa Acuminata):** Esta especie de musácea se cultiva en todas las regiones del país, su explotación ha provocado mayor interés en ciertas provincias como Guayas, Los Ríos, Cotopaxi, Chimborazo, debido al creciente nivel de exportación registrado en los últimos años, donde los mercados americano y europeo acogen la fruta, tanto por su sabor como por su calidad [12].

### **2.1.7. Usos del banano**

El banano es exportado para ser consumido principalmente como fruta fresca, pero hay otras formas de utilización: para la fabricación de almidón y harina, para uso alimentario e industrial; como pulpa de banano para la elaboración de alimentos infantiles; como jugo de banano clarificado; como bananos deshidratados. Así mismo se han hecho esfuerzos para utilizar partes de la planta y del fruto como materia prima para la fabricación de papel y de alcohol, a partir de los desechos fibrosos [13].

### **2.1.8. Residuos agrícolas de banano**

La actividad bananera a nivel mundial se estima que el 67% del volumen total de producción lo constituyen los desechos (pseudotallo, hojas y raquis) que no aprovecha el hombre sistemáticamente, sino más bien es un foco de contaminación, debido que de la planta sólo son utilizados los frutos [14].

### **2.1.9. Pseudotallo**

Es una fuente de fibra y, en especial, las especies de *Musa textilis* de *Musa* (el abacá, manila, el cáñamo) sirven para hacer ropas, cordones, hilos, forros interiores de vehículos. La fibra común que se extrae de los pecíolos secos y el pseudotallo de la planta son utilizados en la fabricación de ciertos papeles [15].

### **2.1.10. Raquis**

Por su parte, el vástago o raquis, comúnmente se utiliza como alimento para ganado [16], y también pueden ser fuente de materiales fibrosos como papel, materiales de construcción y artesanías [17].

Los frutos verdes y maduros residuales de la post-cosecha pueden ser aprovechados para alimentación humana, en la elaboración de chips, cremas, panes, tortas, helados, batidos, mermeladas, purés, productos lácteos como los yogures, en bebidas sazonadas y alcohólicas, en alimentos infantiles y salsas, y en la extracción de almidones nativos de plátano, entre otros [18].; así como en la utilización de dichas harinas y almidones para la elaboración de pastas alimenticias y productos de panificación [19].

Según Shedden [20] en su investigación con el tema “Estudio de raquis de banano (*Musa giant cavendishii* Labert) e investigación de sus posibles usos”, recalca que el raquis "está constituido por 93% de agua, 7% de materia sólida, de la cual el 40% es fibra y un contenido de lignina de 11, 7% y de celulosa un 53%, quien además demostró que existe factibilidad técnica para producir papel y aglomerados de fibra del raquis de banano [20].

### **2.1.11. Hipoclorito de sodio (Lejía)**

Es un compuesto químico llamado hipoclorito de sodio, disuelto en agua. Solución acuosa de una base o una sal alcalina. Su principal uso es como blanqueador, especialmente de tejidos, y como desinfectante [21]. Solución de hidróxido sódico o potásico de gran poder desinfectante y blanqueador. La lejía comercial se trata de una solución acuosa cuyos principales componentes son hipoclorito de sodio e hidróxido sódico [22].

### 2.1.12. Origen del hipoclorito de sodio (lejía)

Fue desarrollado por el francés Berthollet en 1787 para blanquear telas. Luego, a fines del siglo XIX, Luis Pasteur comprobó su incomparable poder de desinfección, extendiendo su uso a la defensa de la salud contra gérmenes y bacterias [21].

### 2.1.13. Usos

**Desinfección:** Debido a que mata las bacterias, elimina el mal olor causado por las bacterias al descomponer los productos orgánicos y es donde los gérmenes se desarrollan. El poder oxidante de la lejía destruye las moléculas producidas por las bacterias, que son las que despiden el mal olor [21]. La lejía, no es adecuada para lavar nylon, seda o lana porque las destruye. Productos fabricados a base de fibras.

### 2.1.14. Efectos sobre el medio

Sin embargo, a pesar de lo poderosa que es la lejía, su acción corrosiva desaparece en la medida que va actuando y termina descomponiéndose en sal y agua. La lejía que se va por el desagüe seguirá cumpliendo su acción limpiadora hasta perder todo su poder corrosivo y antiséptico. Por esa razón no afecta el medio ambiente. En general, para contrarrestar la acción de la lejía, se debe usar solamente agua fría [21].

### 2.1.15. Composición básica del hipoclorito de sodio (lejía) a usar

**Tabla 2:** Composición del Hipoclorito de sodio (Lejía) utilizado.

Componente	Concentración en la fórmula
Hipoclorito de sodio	10%
Hidróxido de sodio	50%
Xilen sulfonato de sodio	40%
Alkyl dimetil oxido de amina y agua	-

Elaborado por: Zamora, J. (2017)

### **2.1.16. Cartón**

El cartón es un producto que está elaborado con materiales fibrosos mezclados con minerales y otros productos químicos. Es una lámina plana formada por fibras vegetales, agua, aire, minerales y sustancias químicas. El cartón puede contener todos los materiales enunciados o solo algunos de ellos, ello corresponde al tipo y características del papel que se desea elaborar [23].

### **2.1.17. Fibras para el cartón**

- De acuerdo con su origen
- De acuerdo con su proceso de obtención
- De acuerdo con los ciclos de uso (virgen o reciclada) [24].

La importancia de la longitud de la fibra para un papelerero radica en la necesidad que tiene de poder tratarla y desarrollarla en la refinación, con el fin de proporcionarle características de fibrilación y flexibilidad, que finalmente se traducirán en un papel de formación y propiedades buenas. En este sentido, la fibra larga permitirá al papelerero, opciones diversas para dar al cartón las propiedades deseadas de acuerdo con su uso final [24].

## **2.2. Marco Referencial**

### **2.2.1. Descripción de las fibras para papel**

Según Hale y Mc Donald [25] En su investigación con el tema “Pulp and Paper Manufacture. The pulping of Wood” redactan lo siguiente: para considerar a una planta como fuente de obtención de fibras para pulpa y papel, dependerá principalmente de la forma de sus células. Las células son unidades estructurales huecas que componen las plantas, cada célula posee una pared celular que encierra una cavidad. En las fases iniciales del crecimiento de la planta las cavidades de las células contienen protoplasma, pero poco después la pared celular se forma totalmente quedando una cavidad tubular, conocida en la industria de pulpa y papel como fibra. Las paredes de estas fibras están principalmente compuestas de celulosa, en varios grados de pureza, siendo este componente la sustancia básica del papel [25].

Sanjuán [26] en su investigación realizada titulada “Obtención de Pulpas y Propiedades de las Fibras para Papel” agrega que, las fibras se caracterizan por tener una longitud mucho mayor que su diámetro, además que sus paredes celulares, densas, son las que le otorgan al papel elasticidad, flexibilidad y resistencia a la tensión requeridas [26].

### **2.2.2. Fibras no madereras**

Según Bublitz y Casey en su investigación titulada “Pulpa y Papel, Química y Tecnología Química” que se encuentra en el Vol. 1. Cap. 3, pp. 151-208. Redactan lo siguiente: la historia del papel registra que se hizo originalmente con fibras procedentes de tejidos no leñosos o plantas no madereras, tales como corteza, algodón, lino, pastos y cañas. El avance en la tecnología de la producción química y mecánica de la pulpa desplazó su interés, promoviendo el cambio de las plantas no leñosas a los materiales de madera, a mediados del siglo XIX.

En la actualidad, la mayor parte de la pulpa y el papel producidos en el mundo se obtiene a partir de la madera, lo que es evidentemente cierto, allí donde esta materia prima abunda y es relativamente barata. En muchas zonas del mundo, sin embargo, los recursos de madera son limitados; por el contrario, se dispone de cantidades considerables de plantas anuales, algunas de las cuales constituyen una fuente excelente de fibras para la industria del papel [27].

Jacobs en la investigación con el tema “Paja de trigo de Washington: Variación en propiedades de fibra” explica que existen dos tipos de fibras no madereras: unas son las que provienen de plantas que se cultivan exclusivamente para la producción de fibras, tales como, el kenaf, cáñamo, lino, entre otras. El otro tipo de fibras son las que provienen de una actividad agroindustrial, siendo la parte fibrosa un residuo aprovechable para fabricar papel [28].

### 2.2.3. Fibras de residuos agrícolas

Jiménez publicó varios artículos en los que estudió las aptitudes papeleras de residuos agrícolas tales como, tallos de girasol, podas de olivo y retoños de vid, incluyendo a las hojas de palma aceitera y tallos de espárragos. El mismo autor menciona, la importancia de la caracterización de las materias primas no madereras para obtener pastas celulósicas, dado que esta información puede orientar el proceso de pulpeo químico más idóneo a seguir y el tipo de pasta a conseguir; por ejemplo, si la materia prima presenta un alto contenido de lignina, la concentración de soda será mayor, o si la materia prima estudiada presenta un alto porcentaje de solubles en agua fría o caliente, influirá en el tiempo y temperatura de cocción y, finalmente en el rendimiento del proceso [29].

Jeyasingam en su investigación con el tema “Experiencia práctica en la fabricación de papel con fibras no madereras”, reconoce a los residuos agrícolas como fuente de fibras para pulpa y que jugarán un rol importante, en el futuro, principalmente en los países altamente poblados como China, India, Egipto y algunos países de África y Latino América, donde estas plantas anuales crecen primero para el consumo humano y luego sus residuos se pueden aprovechar para la fabricación de pulpa para papel [30].

### 2.2.4. Parámetros en el proceso de desfibrado

Sea cual sea el equipo utilizado en el proceso de desfibrado, es fundamental conocer y optimizar las condiciones de operación o parámetros que deben de ser mantenidas para minimizar el tiempo para que se desintegre totalmente la materia prima fibrosa. Los parámetros en la desfibración son los siguientes:

**Tiempo.** De acuerdo con las características del equipo y al tipo de materia prima utilizada, debe determinarse perfectamente el tiempo mínimo para obtener una desfibración completa. el proceso de desfibración también se controle adecuadamente.

**Temperatura.** En algunos casos, debido al tipo de materia prima utilizada o para acortar el tiempo de desfibrado, se calienta el agua que se adiciona al pulper para facilitar la disgregación de las fibras [24].

### **2.2.5. Pulpeo**

Es el proceso mediante el cual la materia prima es transformada en una masa fibrosa, es decir, se rompen las unidades de la madera a fin de liberar las fibras celulósicas. Esta operación puede llevarse a cabo por medio de procesos mecánicos, químicos, térmicos o combinación de estos [31].

Según lo reseñado por Peña y Aguilera, la pulpa se obtiene por la separación de las fibras de la madera u otros materiales fibrosos; podría decirse que es un producto intermedio en la manufactura de papel y cartón. La producción de pulpa se logra por medios químicos o mecánicos o mediante combinaciones de los dos procesos. Dependiendo de la maquinaria y de la acción utilizada, se puede decir que los materiales vegetales se muelen, cuecen digieren, desfibran, deslignifican o se refinan para convertirse en pulpas [32].

### **2.2.6. Pulpa celulósica**

El principal componente del papel es la fibra celulósica y sus propiedades mecánicas en los productos papeleros van a depender del tipo de fibras y el proceso usado para su obtención [33].

### **2.2.7. Proceso de pulpeo**

Según McGovern y Casey [34] en su investigación con el tema “Pulpa y Papel, Química y Tecnología Química” que se encuentra en el Vol. 1. Cap. 4, pp. 209-217, redactan lo siguiente: la pulpa se obtiene por la separación de las fibras de la madera u otros materiales fibrosos, y es casi siempre un producto intermedio en la manufactura de papel y cartón. La producción de pulpa se logra por medios químicos o mecánicos, o mediante combinaciones de los dos procesos. En la producción mecánica de pulpa los integrantes químicos originales del material fibroso quedan inalterados, excepto por la eliminación de los solubles en agua, por otro lado, la producción química de pulpa tiene como objetivo la eliminación selectiva de la lignina que une las fibras, eliminación variable en grado, con ataque mínimo a las hemicelulosas y la celulosa. El mismo autor, señala que las propiedades de los productos terminales, papeles y cartones, dependerán de las características de las pulpas utilizadas en su manufactura las que a su vez variarán con las especies de fibras de distintas maderas o de plantas no leñosas utilizadas, así como del proceso empleado en la obtención de pulpa [34].

### **2.2.8. Pulpeo químico**

Según Bryce y Casey [35] en el proyecto de investigación “Pulpa y Papel, Química y Tecnología Química”, los dos principales procesos alcalinos que se utilizan en la producción de pulpa son los procesos a la soda y al sulfato (conocido como proceso Kraft). En ambos, el principal producto químico para la cocción es el hidróxido de sodio. En los procesos químicos de producción de pulpa, las fibras se separan entre sí, por la eliminación, en cuanto sea posible de la lignina de la lámina media [35].

Los factores que se toman en cuenta para la cocción, son los siguientes:

- Cantidad de reactivo
- Tiempo y temperatura de cocimiento
- Relación sustancias químicas en agua- material fibroso (Hidromódulo)
- Tipo, tamaño de astillas y calidad de la materia prima fibrosa [23].

### **2.2.9. Pulpeo con plantas no madereras**

Sanjuán [26] en su investigación con el tema “Obtención de Pulpas y Propiedades de las Fibras para Papel” señala que, en el caso de las fibras no madereras, se emplea normalmente el proceso a la soda. Debido a que las plantas no maderables se impregnan con facilidad y tienen un contenido bajo de lignina reactiva, la cantidad de reactivos que se necesita es menor que en el pulpeo de madera. Para el proceso a la soda se requiere de 10 a 15 % de NaOH, referido al material fibroso base seca, y una temperatura de 160 a 170° C. El rendimiento es de 40 a 55 % y depende en gran medida del tipo y calidad de la materia prima, especialmente del contenido de lignina [26].

## **2.3. Impacto ambiental de la industria papelera**

Se asocia como indicador de la contribución a la contaminación de las aguas, la atmósfera y el suelo, a la tala de los árboles y a la generación de basura.

**Consumo de energía.** La industria papelera es el quinto sector industrial en consumo de energía, con un 5% del uso mundial de energía. No obstante, este sector tiene un gran potencial para cubrir internamente su demanda.

**Consumo de agua.** La elaboración de pulpa de papel requiere grandes cantidades de agua, que varían en función de las materias primas y de las tecnologías. Las plantas de producción de pulpa más modernas están reduciendo en gran medida su consumo de agua recirculando el agua de sus efluentes.

**Emisiones gaseosas.** La fabricación de papel puede emitir a la atmosfera contaminantes como compuestos orgánicos volátiles, óxidos nitrosos y de azufre, acetona, metanol, organoclorados, ácido clorhídrico y sulfúrico, partículas y monóxido de carbono.

Debido al elevado consumo energético, también origina indirectamente, emisiones de dióxido de carbono, responsables del efecto invernadero.

**Efluentes líquidos.** Una parte importante de la carga contaminante consiste en fibras de celulosa disueltas, que si no son depuradas ocasionan graves problemas en los cauces receptores de los vertidos.

Los vertidos de las fábricas de pulpa química contienen restos de los productos químicos utilizados para cocer la madera, sustancias resultantes de la eliminación de la lignina (licor negro) y sustancias organocloradas provenientes del blanqueo, cuando se utilizan compuestos clorados y muchos compuestos sin identificar resultantes de las interacciones entre ellos.

**Residuos sólidos.** La industria papelera genera una enorme cantidad de residuos de mayor o menor toxicidad según el proceso. La preparación de la madera para uso en una planta de pulpa genera una gran cantidad de desechos sólidos: la extracción de la madera, incluyendo la tala de los árboles, y remoción de las ramas, corteza, tierra, arena o piedras. Las otras fuentes de desperdicios sólidos incluyen el material rechazado por la malla, lodos de las aguas servidas, papel defectuoso y basura [36].

## **2.4. Lignina**

Según Aitken, Cadel y Voillot [37] en su investigación con el tema “Constituants fibreux des pates papiers et cartons pratique de l'analyse” mencionan que: Después de la celulosa, la lignina es el polímero más abundante en el mundo vegetal, representando entre un 25 y un 33% de la madera de coníferas y entre un 18 y un 34% de la madera de frondosas [37].

García [38] en su tema de investigación “Fibras Papeleras” menciona lo siguiente: En el caso de las plantas no madereras hay un menor porcentaje de lignina con respecto a las especies madereras, con un 8-9% para fibras de hojas (abacá y sisal), entre un 3- 13% para fibras liberianas (lino, cáñamo, yute y kenaf), entre un 12 y un 21% para pajas (paja de arroz, paja de trigo) y entre un 19 y un 22% para cañas (azúcar, bambúes) [38].

## **2.5. El pH del papel**

Define el grado de acidez, alcalinidad o neutralidad química de un material, los papeles de pH bajo son ácidos y se autodestruyen, los papeles de pH 7 o neutro tienen mejor oportunidad de vida, los papeles alcalinos de pH 7 a 8 tienen mayor potencial de larga vida [39].

## **2.6. Normas relacionadas al proyecto de investigación**

### **2.6.1. Determinación del gramaje. Calidad del cartón. NTE INEN- ISO 536:2013**

Esta norma nacional describe el método para determinar el gramaje del cartón expresándolo en gramos por metro cuadrado, cabe especificar que esta norma aplica tanto para papel como para cartón [40].

### **2.6.2. Determinación de la humedad. TAPPI 412**

Norma de calidad aplicada a papel y cartón que se basa en determinar la cantidad de agua presente en una pieza de papel, cartón o producto de cartón [41].

### **2.6.3. Determinación del espesor. Calidad del cartón. NTE INEN 1399**

El fundamento de esta norma comprende la medición del espesor de una hoja simple de papel o cartón, mediante el uso de un micrómetro de cuadrante, operado a motor o manual, cuando se ha sometido a una carga estática específica por un tiempo mínimo determinado [42].

#### **2.6.4. Determinación de la absorción del agua en papeles y cartones.**

##### **Ensayo de Cobb. NTE INEN 1400**

Esta norma establece un método para determinar la cantidad de agua absorbida, en un tiempo determinado, por un papel o cartón no poroso, de un espesor mínimo de 0,1 mm (0,004 pg) [43].

#### **2.6.5. Determinación de la absorción del agua en papeles porosos. Papeles y cartones. NTE INEN 1407 (1986)**

El fundamento de esta norma establece el método de ensayo para determinar el tiempo requerido por papeles no encolados para absorber completamente cierta cantidad de agua [44].

#### **2.6.6. Determinación de cenizas. TAPPI 211**

Este método de ensayo busca la presencia o ausencia de residuos de productos químicos utilizados en la fabricación de cartón [45].

**CAPITULO III**  
**METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### 3.1. Localización

El trabajo experimental se realizó en los talleres de Agroindustria de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería perteneciente a la Universidad Técnica Estatal de Quevedo ubicada en el km 1 1/2 vía a Santo Domingo de los Tsáchilas. Las coordenadas de las instalaciones son 1°00'44.4"S y 79°28'14.1"W, estando ubicadas en la Provincia de los Ríos, en el Cantón Quevedo.

La localización de los subproductos: raquis y pseudotallo (residuos de la industria bananera) de la *Musa acuminata cavendish* fueron adquiridos en una bananera, la cual está ubicada en el sector La Playita, perteneciente al cantón La Maná provincia de Cotopaxi. El raquis tomado del lugar de acopio en la bananera y el pseudotallo en la zona de las plantaciones de producción agrícola del banano.

En cuanto al hipoclorito de sodio más conocido como lejía (ablandador de fibra), fue adquirida en una casa comercial.

Los ensayos de cartón se realizaron en el Laboratorio de Control de Calidad de la Empresa Cartapel, Guayaquil-Ecuador.

### 3.2. Tipo de Investigación

Para el desarrollo del proyecto de investigación se aplicó los siguientes tipos de investigación:

- **Investigación descriptiva.** Este tipo de investigación se empleó en el diagnóstico de los problemas que surgen de la industria en la producción de papel o cartón, mediante el cual se describió algunos de los inconvenientes ocasionados al medio ambiente y por ende buscando nuevas alternativas para desarrollar un producto más amigable con éste.
- **Investigación analítica.** Corresponde a la interpretación y análisis de los datos obtenidos al evaluar los dos tipos de materia prima (subproductos de la industria bananera), los porcentajes de ablandador y los tiempos de cocción para la producción de cartón.

- **Investigación bibliográfica.** Se utilizó para recopilar información de artículos científicos, libros, fichas técnicas y normas referentes en cuanto a los requerimientos de cartón, revistas científicas, los cuales son el fundamento para el análisis y discusión de los resultados obtenidos que permitan desarrollar los métodos y realizar comparaciones para el presente estudio.
- **Investigación experimental.** Se realizó mediante el proceso de obtención de pulpa celulósica para la elaboración de cartón, comprende la manipulación de las técnicas de aplicación de los porcentajes de ablandador con diferentes tiempos de cocción en tipo de materia prima, sobre los resultados obtenidos en el experimento, tales como, pH, gramaje, humedad, espesor, absorción de agua Cobb, cenizas y absorción de agua en papeles porosos.

### 3.3. Métodos de la investigación

En el presente trabajo investigativo se aplicaron los siguientes métodos de investigación:

- **Método inductivo:** permite tener un mejor panorama de los problemas que se generan en el medio ambiente; que se origina por los residuos que son producidos normalmente a diario en la industria bananera, así como los que atribuye la producción de papel y cartón. Debido a esto incentivó métodos del aprovechamiento de los subproductos agroindustriales del banano y de esta manera desarrollar un cartón con otro tipo de fibra que disminuya el impacto ambiental.
- **Método deductivo:** se utilizó para establecer que los residuos del banano: pseudotallo y raquis que son desechados y muchas veces quemadas luego de la cosecha y potscosecha en las bananeras, poseen una fibra con potencial para la obtención de papel/cartón; y que la reutilización de estos como otra alternativa en la industria papelera disminuiría la deforestación que cada día va en aumento.

- **Método analítico:** se empleó el método analítico para poder determinar los tratamientos que llegaron a producir un cartón con características aceptables, evaluando el gramaje, espesor, humedad, absorción de agua Cobb, cenizas y absorción de agua en papeles porosos; los mejores tratamientos en la producción de cartón, evaluando las características físicas y químicas del producto final.

### **3.4. Fuente de recopilación de información**

Se recopiló información de fuentes como: tesis de investigación similares en cuanto a la fabricación de cartón mediante fibras no maderables, así mismo investigaciones dirigidas a la obtención de la fibra de banano para la fabricación de papel y cartón, artículos científicos y las normas nacionales que rigen la producción de papel y cartón; con el fin de respaldar la investigación con datos bibliográficos.

### **3.5. Diseño de la investigación**

En esta investigación se aplicó un diseño factorial ( $A*B*C$ ), se utilizó A para el análisis del tipo de materia prima procedentes de los residuos bananeros, en factor B se utilizó dos porcentajes de ablandador sobre la fibra y el último factor, C; evaluó los tiempos de cocción.

Para determinar los efectos producidos entre los diferentes niveles y tratamientos, se utilizará la prueba de significación de Tukey. Las variables estudiadas son: pH, gramaje, espesor, humedad, absorción de agua Cobb, cenizas y absorción de agua en papeles porosos.

#### **3.5.1. Factores de estudio**

Los factores de estudio que intervinieron en esta investigación son los siguientes:

**Tabla 3:** Descripción de los factores de estudio que intervienen en el proceso de ablandamiento de la fibra no maderable del pseudotallo y raquis del banano para la obtención de cartón.

<b>Factor</b>	<b>Simbología</b>	<b>Descripción</b>
A: Tipo de materia prima	$a_0$	Pseudotallo
	$a_1$	Raquis
B: Porcentaje de Ablandador (Hipoclorito de sodio)	$b_0$	15%
	$b_1$	20%
C: Tiempo de cocción	$c_0$	60 min
	$c_1$	90 min

Elaborado por: Zamora, J. (2017).

### 3.6. Diseño estadístico de la investigación

**Tabla 4:** Esquema del análisis de varianza.

<b>FUENTE DE VARIACIÓN</b>	<b>GRADOS DE LIBERTAD</b>
<b>Réplica</b>	1
<b>Factor A</b> (Tipo de materia prima)	1
<b>Factor B</b> (Porcentaje de ablandador)	1
<b>Factor C</b> (Tiempo de cocción)	1
<b>Efecto (AB)</b>	1
<b>Efecto (AC)</b>	1
<b>Efecto (BC)</b>	1
<b>Efecto (ABC)</b>	1
<b>Residuo o error</b>	7
<b>TOTAL</b>	15

Elaborado por: Zamora, J. (2017)

#### Características del experimento de obtención de cartón

- ✓ Número de tratamientos: 8
- ✓ Número de repeticiones: 2
- ✓ Unidades experimentales: 16

#### 3.6.1. Tratamientos de la investigación

Se aplicará un arreglo factorial  $A \times B \times C$ , con los niveles en  $A=2$ ;  $B=2$  y  $C=2$ , dando como resultado un total de 8 tratamientos.

**Tabla 5:** Factores de estudio que intervienen en el proceso de obtención del cartón.

Nº.	Tratamientos	Combinación
1	a <sub>0</sub> b <sub>0</sub> c <sub>0</sub>	Pseudotallo+ 15% + 60min
2	a <sub>0</sub> b <sub>0</sub> c <sub>1</sub>	Pseudotallo+ 15% + 90min
3	a <sub>0</sub> b <sub>1</sub> c <sub>0</sub>	Pseudotallo+ 20% + 60min
4	a <sub>0</sub> b <sub>1</sub> c <sub>1</sub>	Pseudotallo+ 20% + 90min
5	a <sub>1</sub> b <sub>0</sub> c <sub>0</sub>	Raquis+ 15% + 60min
6	a <sub>1</sub> b <sub>0</sub> c <sub>1</sub>	Raquis+ 15% + 90min
7	a <sub>1</sub> b <sub>1</sub> c <sub>0</sub>	Raquis+ 20% + 60min
8	a <sub>1</sub> b <sub>1</sub> c <sub>1</sub>	Raquis+ 20% + 90min

Elaborado por: Zamora, J. (2017)

### 3.6.2. Variables de estudio

Las variables a estudiar son:

En licor de cocción para la obtención de cartón:

- pH

En el producto final:

- Gramaje
- Espesor
- Humedad
- Absorción de agua Cobb
- Cenizas
- Absorción de agua en papeles porosos

### 3.7. Instrumentos de la investigación

#### 3.7.1. Manejo del Experimento

Descripción del proceso de obtención de pulpa para la producción de cartón artesanal a partir de los residuos de banano, pseudotallo y raquis.

**Recepción de la materia prima:** Se procedió a recoger los residuos agrícolas del banano desechados después de la cosecha y pots cosecha del mismo, en la bananera ubicada en el sector La Playita, La Maná-Cotopaxi.

1. **Acondicionamiento:** Se procedió a lavar el pseudotallo para retirar tierra y demás adherencias del ambiente del que fue recogido, para obtener una fibra libre de impurezas impropias de este. En cuanto al raquis, se retiró los residuos de fruto que tenía y se procedió a lavar para retirar tierra, agroquímicos y demás adherencias del ambiente en el que estuvo.
2. **Descortezado:** esta acción se llevó a cabo en el raquis, con un cuchillo se separó la corteza que cubre la fibra del raquis, acción que facilitará el ablandamiento la fibra posteriormente.
3. **Pesado:** El pesado de la materia prima se realizó con una balanza comercial, las muestras representativas fueron de 2000g.
4. **Troceado:** Se realizó con el fin de reducir de tamaño el pseudotallo mediante cortes con cuchillo, de tal manera que quede un tamaño de unos 5cm.
5. **Preparación del ablandador:** el volumen del ablandador se calculó con relación al volumen conocido de agua para verterlo en los diferentes tratamientos, de acuerdo a las concentraciones dadas. El 15% y 20% de hipoclorito de sodio (lejía) como ablandador, en 10 litros de agua.
6. **Cocción:** Se llevó a cabo con el fin de ablandar la fibra para la obtención de pulpa celulósica, la temperatura es controlada con un termómetro digital constantemente hasta que el ciclo de cocción se cumple llevando la muestra a un hervor de 100°C; llegado a este punto se añade la concentración de ablandador correspondiente al tratamiento en cuestión y se mantiene a ebullición durante el tiempo estimado (60/90 minutos) según corresponda el tratamiento. Al término de la cocción se deja reposar por un corto período de tiempo.
7. **Lavado:** Esta operación inicia con la toma de muestra del líquido de cocción para la medición del pH inicial, entre más cerca se encuentre del rango 7-10 más vida útil tendrá el producto. Se procede al lavado con agua fría varias veces con flujo constante para eliminar lignina y restos del ablandador, hasta alcanzar un pH óptimo según lo indicado antes, utilizando un tamiz de tela metálica para evitar pérdida de la muestra.
8. **Licudo:** La fibra lavada pasa a ser desfibrada en una licuadora de cuchillas con filo. El licuado de la muestra completa se lo hizo al cabo de 10 minutos, por cada porción de fibra lavada que ingrese a la licuadora se va añadiendo una pequeña cantidad de agua para que agilice el proceso y la correcta dispersión del material. Por medio de este se obtiene la pulpa.

9. **Moldeo:** Se llevó la pasta celulósica obtenida en el licuado a un molde formador A4 de madera con base de malla metálica que deja escapar el exceso de agua, cubriendo la mezcla con un lienzo y una plancha de revestimiento de aluminio de igual tamaño del molde que servirá para ejercer presión en el mismo.

El molde se agita en todas las direcciones para distribuir de manera uniforme las mezclas, mientras que se agita el molde gran parte del agua se filtra a través de la malla metálica.

10. **Prensado:** una vez que se vierte la mezcla y se cubre con el lienzo, y el molde encajado con su tapa; se lleva a la prensa manual y se somete a presión. La misma se deja sobre una tina redonda de plástico durante 5 días, con esta acción se eliminará la mayor cantidad de agua contenida lo que ayudará en el siguiente paso.

11. **Secado:** luego del prensado, se lleva el molde a secar al ambiente hasta que no haya presencia de humedad.

El secado de forma natural lleva un tiempo de 6-12 días. Una vez seco se separa de los lienzos.

**Cartón:** se llegó a obtener cartón de diferentes calidades, de acuerdo al tipo de residuo (materia prima) empleado, las diferentes concentraciones de ablandador y tiempos de cocción.

### 3.7.2. Análisis fisicoquímicos

Las técnicas o métodos a utilizar son las empleadas en el Laboratorio de Talleres de Agroindustrias, en el Laboratorio de Bromatología perteneciente a la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, así como también las usadas según las normas INEN y TAPPI que se detallarán más adelante, dependiendo del tipo de análisis.

**Determinación del pH:** Para registrar el valor de **pH**, durante el proceso de obtención de pulpa, al finalizar la cocción se toma el pH inicial con el potenciómetro; en un vaso de precipitación se colocan 50ml de muestra.

Luego se introducen los electrodos del potenciómetro en el vaso de precipitación con la muestra, cuidando que éstos no toquen las paredes del recipiente ni las partículas sólidas que pudieran haber. Se registra el valor, luego se realizan varios lavados del tratamiento en cuestión con el fin de obtener un rango de pH óptimo y se vuelve a tomar lectura con el mismo procedimiento anteriormente descrito.

Para la determinación del **gramaje** se utilizó una balanza analítica, se tomó una muestra representativa de cartón de cada tratamiento, de un tamaño de  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ . Se toma lectura del peso de la muestra y se la expresa en  $\text{g/m}^2$ . En cuanto a la determinación del **espesor**, se necesitó el uso de un micrómetro de marca Mitutoyo, se tomó como muestra los especímenes utilizados en el análisis anterior (gramaje), con un tamaño de  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ . Siguiendo los lineamientos de la norma **NTE INEN 1399**.

Para determinar el **contenido de humedad** se toma como muestra un espécimen de  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ , se toma lectura del peso inicial en una balanza analítica, después se llevan las muestras a la estufa a una temperatura de  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  durante 1 hora. Se retira de la estufa y se deja en reposo por 10 minutos, se vuelve a tomar el peso que sería el de muestra seca. Se calcula según lo establecido por la norma **TAPPI 412**.

En la determinación de la **absorción de agua por el método de Cobb**, se acondicionó una muestra del espécimen a un tamaño de  $14 \times 14 \text{ cm}^2$  y pesarlo en una balanza para obtener el peso inicial, se procedió a medir 100 ml de agua en una probeta. Se colocó la muestra de cartón en el dispositivo de Cobb y posteriormente se vertió la cantidad de agua mencionada tomando el tiempo con un cronómetro desde el momento en que esta entra en contacto con el espécimen. Al cabo de 1 minuto con 45 segundos se retira el agua vertida en el dispositivo con la muestra, se procede a retirar el exceso de agua con papel secante y el rodillo del dispositivo. Al final se toma lectura del peso final de la muestra húmeda. Todo esto siguiendo los lineamientos de la norma **INEN 1400**.

Para registrar la cantidad de **cenizas** contenidas en el producto final (cartón), se tomó 1 gr de muestra libre de humedad, se colocó en un crisol ya desecado y se introdujo el mismo con la muestra en la mufla a  $525 \text{ }^\circ\text{C}$  por 60 minutos. Al cabo de esto se enfrió ligeramente a temperatura ambiente y se pesó nuevamente el crisol con la muestra carbonizada. Como lo indica la norma **TAPPI 211. La absorción de agua en papeles porosos**, se toma una muestra o espécimen de  $10 \times 10 \text{ cm}$  y se coloca de forma horizontal sobre el centro del soporte. Se deja caer una gota de agua destilada de la bureta y se toma el tiempo desde que entra en contacto con el cartón hasta que esta sea absorbida completamente; tal y como lo indica la norma **INEN 1407**.

### 3.8. Tratamientos de los datos

El análisis estadístico de los resultados obtenidos de las variables de estudio, se realizó mediante un análisis de varianza (ADEVA) y para determinar diferencia significativa se aplicó la prueba de significación Tukey ( $p \leq 0,05$ ), este análisis se realizó en el programa estadístico STATGRAPHICS Centurión XVI versión 16.2.04.

### 3.9. Recursos Materiales

#### 3.9.1. Materiales y equipos

A continuación, se detalla la lista de materiales, equipos utilizados, reactivos y otros:

**Tabla 6:** Materiales, equipos y reactivos utilizados en la obtención de cartón a partir de pseudotallo y raquis de banano.

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>	<b>Reactivos</b>
<b>8 Moldes de tamaño A4 con malla metálica</b>	Licudadora casera	Hipoclorito de sodio (Lejía)
<b>Tamiz</b>	Prensa	Agua destilada
<b>Lienzos de tela</b>	Cocina industrial	Agua
<b>Vaso de precipitación de 50ml</b>	Balanza analítica	
<b>Cuchillo</b>	Termómetro	
<b>Cofia y mascarilla</b>	Potenciómetro	
<b>Recipiente (jarra) de 1L</b>	Tanque de gas	
<b>Cucharón de madera</b>	Estufa	
<b>Toallas papel secante</b>	Micrómetro	
<b>Cúter</b>	Dispositivo Cobb	
<b>Probeta de 100ml</b>	Mufla	
<b>16 crisoles</b>	Bureta	
<b>Trípode</b>		
<b>Pinzas metálicas</b>		
<b>Cronómetro, lápiz</b>		

Elaborado por: Zamora, G. (2017)

A continuación, se muestra los materiales usados en los análisis químicos realizados en el laboratorio de procesos de Agroindustrias, perteneciente a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Ambientales, de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

**Tabla 7 :** materiales, equipos y reactivos utilizados en la medición del pH

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>	<b>Reactivos</b>
Vaso de precipitación 50 ml	Potenciómetro	Agua destilada

Elaborado por: Zamora, J. (2017)

Los siguientes análisis realizados en la industria cartonera Cartopel son:

### **Gramaje**

**Tabla 8:** materiales, equipos y reactivos utilizados en la medición de gramaje.

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>	<b>Reactivos</b>
Molde de 10x10	Balanza analítica	-----
Cúter - lápiz		

Elaborado por: Zamora, J. (2017)

### **Humedad**

**Tabla 9:** materiales, equipos y reactivos utilizados en la medición de la humedad.

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>	<b>Reactivos</b>
Moldes de 10x10	Estufa	-----
Cúter	Balanza analítica	
Pinzas metálicas		
Lápiz		

Elaborado por: Zamora, J. (2017)

## Espesor

**Tabla 10:** materiales, equipos y reactivos utilizados en la medición del espesor.

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>	<b>Reactivos</b>
Molde de 10x10	Micrómetro	-----
Cúter		
Lápiz		

**Elaborado por:** Zamora, J. (2017)

## Absorción de agua Cobb

**Tabla 11:** materiales, equipos y reactivos utilizados en la medición de absorción de agua Cobb.

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>	<b>Reactivos</b>
Molde de 14x14	Dispositivo Cobb	Agua destilada
Cúter o tijeras	Balanza analítica	
Toallas de papel secante		
Probeta de vidrio 100ml		
Cronómetro		
Lápiz		
Regla graduada		

**Elaborado por:** Zamora, J. (2017)

Los análisis realizados al producto final realizados en el Laboratorio de Bromatología, y en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Ambientales perteneciente a la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, son:

## Cenizas

**Tabla 12 :** materiales, equipos y reactivos utilizados en la determinación de cenizas

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>	<b>Reactivos</b>
Tijeras	Balanza analítica	-----
16 crisoles	Mufla	
Pinzas metálicas		

**Elaborado por:** Zamora, J. (2017)

## Absorción de agua en papeles porosos

**Tabla 13 :** materiales, equipos y reactivos utilizados en la medición de absorción de agua en papeles porosos.

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>	<b>Reactivos</b>
Tijeras	Bureta graduada	Agua destilada
Soporte para el espécimen	Porta-bureta	
Cronómetro		

**Elaborado por:** Zamora, J. (2017)

**CAPÍTULO IV**  
**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

## 4.1. Resultados de la evaluación de la calidad del cartón obtenido a partir del pseudotallo y raquis de banano

### 4.1.1. Análisis de Varianza de pH

A continuación, se presenta el análisis de varianza de pH en el licor de cocción.

El asterisco (\*) denota diferencia significativa.

**Tabla 14:** Análisis de varianza para el pH en la pulpa celulósica

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Réplicas	0,0370562	1	0,0370562	1,14	0,3215
Factor a: materia prima	0,278256	1	0,278256	8,54	<b>0,0222*</b>
Factor b: % ablandador	0,00455625	1	0,00455625	0,14	0,7195
Factor c: tiempo	0,0517563	1	0,0517563	1,59	0,2479
AB	0,0248062	1	0,0248062	0,76	0,4118
AC	0,0430563	1	0,0430563	1,32	0,2880
BC	0,0495062	1	0,0495062	1,52	0,2574
ABC	0,0162562	1	0,0162562	0,50	0,5027
Residuos	0,227994	7	0,0325705		
Total (corregido)	0,733244	15			

( $p < 0,05$ )

Elaborado por: Zamora, J. (2017)

**Interpretación:** Respecto a los resultados del análisis de varianza de pH que están presentes en la tabla 14 se observa que existe diferencia significativa en el factor A que hace referencia a la materia prima empleada en esta investigación.

### 4.1.2. Análisis de Varianza de Gramaje

La siguiente tabla representa el análisis de varianza correspondiente a la determinación del gramaje:

**Tabla 15:** Análisis de varianza del gramaje

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
Réplicas	88506,3	1	88506,3	1,88	0,2123
Factor a: materia prima	369056,	1	369056,	7,85	<b>0,0264*</b>
Factor b: % ablandador	56,25	1	56,25	0,00	0,9734
Factor c: tiempo	306,25	1	306,25	0,01	0,9379
AB	124256,	1	124256,	2,64	0,1480
AC	17556,3	1	17556,3	0,37	0,5604
BC	6,25	1	6,25	0,00	0,9911
ABC	7656,25	1	7656,25	0,16	0,6985
Residuos	328944,	7	46992,0		
Total (corregido)	936344,	15			

(p&lt;0,05)

**Elaborado por:** Zamora, J. (2017)

**Interpretación:** En la tabla 15, donde se detalla el análisis de gramaje, indica que presenta diferencia significativa en el factor A que corresponde a la materia prima utilizada.

#### 4.1.3. Análisis de varianza del espesor

A continuación, se muestra el análisis de varianza del espesor realizado al cartón obtenido.

**Tabla 16:** Análisis de varianza del espesor del cartón

<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>Razón-f</b>	<b>Valor-p</b>
Réplicas	0,765625	1	0,765625	4,34	0,0757
Factor a: materia prima	1,0	1	1,0	5,67	<b>0,0488*</b>
Factor b: % ablandador	0,140625	1	0,140625	0,80	0,4015
Factor c: tiempo	0,390625	1	0,390625	2,22	0,1803
AB	0,5625	1	0,5625	3,19	0,1173
AC	0,0625	1	0,0625	0,35	0,5704
BC	0,390625	1	0,390625	2,22	0,1803
ABC	0,5625	1	0,5625	3,19	0,1173
Residuos	1,23438	7	0,176339		
Total (corregido)	5,10938	15			

(p&lt;0,05)

**Elaborado por:** Zamora, J. (2017)

**Interpretación:** De acuerdo a los resultados de análisis de varianza del espesor del cartón en la tabla 16 se determina que existe diferencia significativa en el factor A (tipo de materia prima).

#### 4.1.4. Análisis de varianza de la humedad

En la siguiente tabla se muestra el análisis de varianza de la humedad realizada al cartón.

**Tabla 17:** Análisis de varianza de la humedad del cartón

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Réplicas	0,172225	1	0,172225	0,04	0,8554
Factor A: Materia Prima	43,1649	1	43,1649	8,96	<b>0,0202*</b>
Factor B: % Ablandador	3,62903	1	3,62903	0,75	0,4143
Factor C: Tiempo	6,9696	1	6,9696	1,45	0,2683
AB	0,9801	1	0,9801	0,20	0,6657
AC	10,1442	1	10,1442	2,10	0,1901
BC	1,96	1	1,96	0,41	0,5440
ABC	1,78222	1	1,78222	0,37	0,5623
RESIDUOS	33,7399	7	4,81998		
TOTAL (CORREGIDO)	102,542	15			

(p<0,05)

Elaborado por: Zamora, J. (2017)

**Interpretación:** En la tabla 17 que representa a los valores de la humedad, indica que sólo se presentó diferencia significativa en el factor A (tipo de materia prima).

#### 4.1.5. Análisis de varianza de la absorción de agua por el método Cobb

En la siguiente tabla se muestra el análisis de varianza de la absorción de agua Cobb realizado al cartón después su proceso de obtención.

**Tabla 18:** Análisis de varianza de la absorción de agua por el método Cobb

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Réplicas	5347,27	1	5347,27	1,87	0,2142
A:factor a: materia prima	226647,	1	226647,	79,11	<b>0,0000*</b>
B:factor b: % ablandador	940,956	1	940,956	0,33	0,5845
C:factor c: tiempo	3579,03	1	3579,03	1,25	0,3006
AB	2598,45	1	2598,45	0,91	0,3726
AC	23,2806	1	23,2806	0,01	0,9307
BC	3133,2	1	3133,2	1,09	0,3304
ABC	119,356	1	119,356	0,04	0,8441
Residuos	20055,8	7	2865,12		
Total (corregido)	262445,	15			

(p<0,05)

Elaborado por: Zamora, J. (2017)

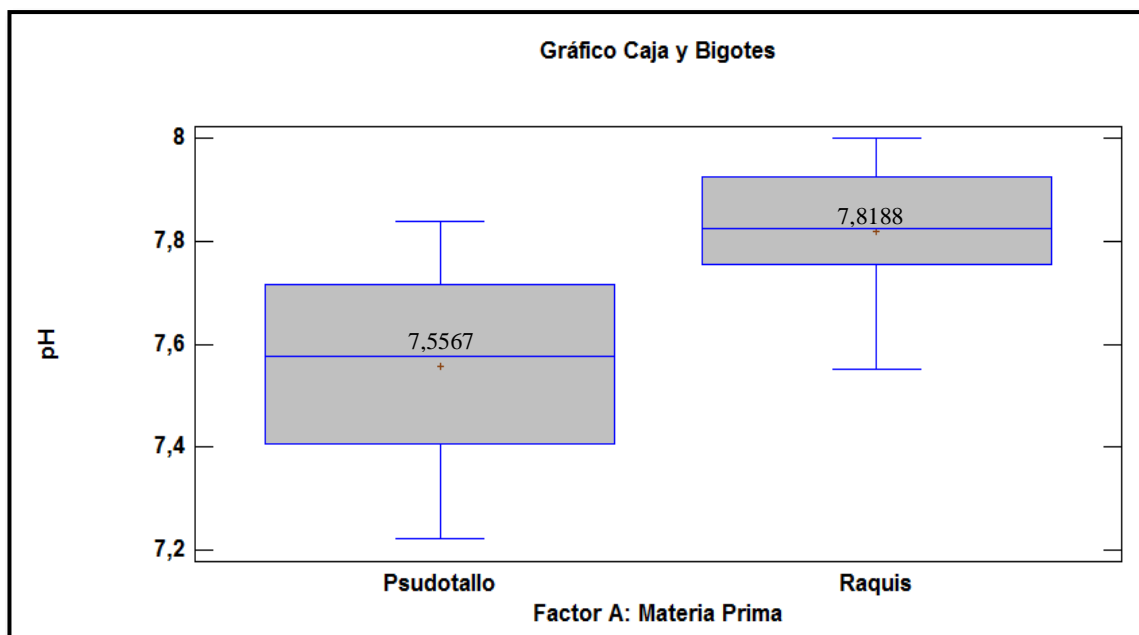
**Interpretación:** En la tabla 18 que representa a los valores de la absorción de agua en el cartón analizado por el método, indica que se presentó diferencia significativa en el factor A que hace referencia a la materia prima utilizada en esta investigación.

#### 4.2. Resultados de la prueba de significación (Tukey $p < 0,05$ ) con respecto a los factores de estudio para los análisis fisicoquímicos

##### 4.2.1. Valoración de los resultados del pseudotallo y raquis que proporciona mejores características físicas-químicas en la obtención de un cartón de buena calidad con respecto al factor A (tipo de materia prima)

##### 4.2.1.1. Resultados con respecto al licor de cocción.

**Gráfico 1:** Resultados de la diferencia de medias entre los tipos de materia prima utilizada (pseudotallo y raquis de banano) de la prueba de significación Tukey ( $p < 0,05$ ). pH

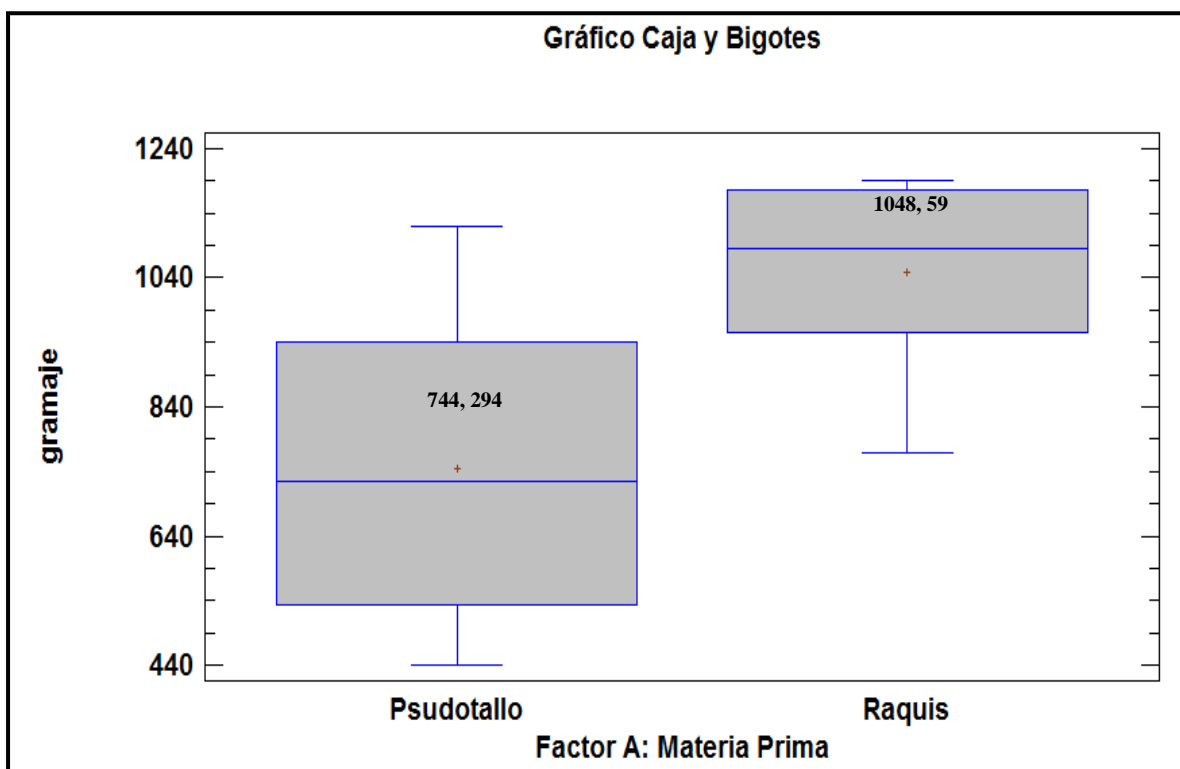


Elaborado por: Zamora, J. (2017)

**Interpretación:** El gráfico 1 indica diferencia en el pH, de los tipos de materia prima procedentes del banano, utilizados durante la cocción para la producción de fibra, el valor más bajo se observa en el licor de cocción obtenido del pseudotallo ( $a_0=7,5567$ ) y el valor más alto en el raquis ( $a_1= 7,8188$ ).

#### 4.2.1.2. Resultados con respecto al producto obtenido

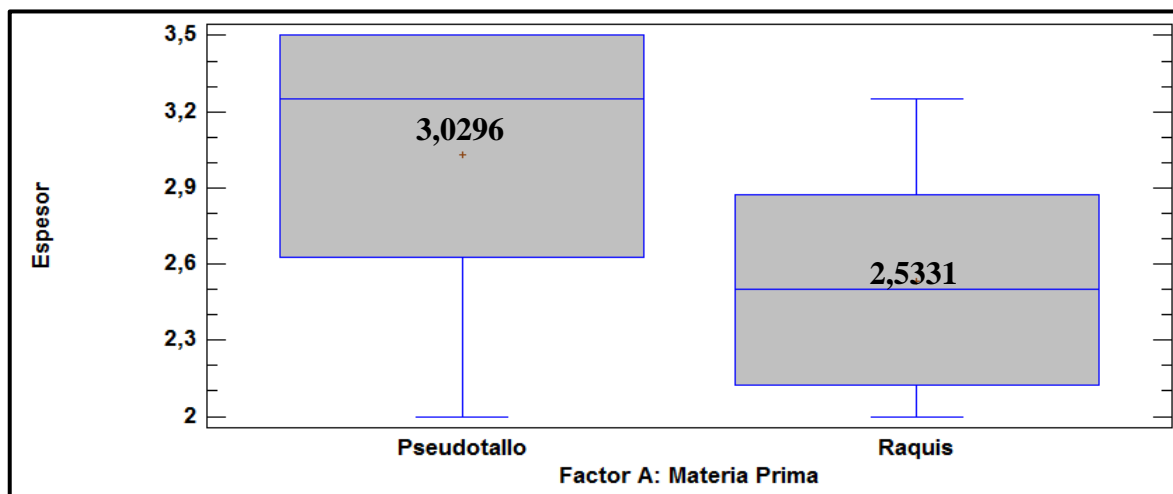
**Gráfico 2:** Resultados de la diferencia de medias entre los tipos de materia prima utilizada (pseudotallo y raquis de banano) de la prueba de significación Tukey ( $p<0,05$ ). Gramaje



Elaborado por: Zamora, J. (2017)

**Interpretación:** En el gráfico 2 se observó diferencia significativa en el gramaje donde arrojó un valor mayor de ( $a_1$ )= 1048,59  $g/m^2$  en el raquis, mientras que el valor menor se encontró en el pseudotallo con ( $a_0$ )= 744,294  $g/m^2$ .

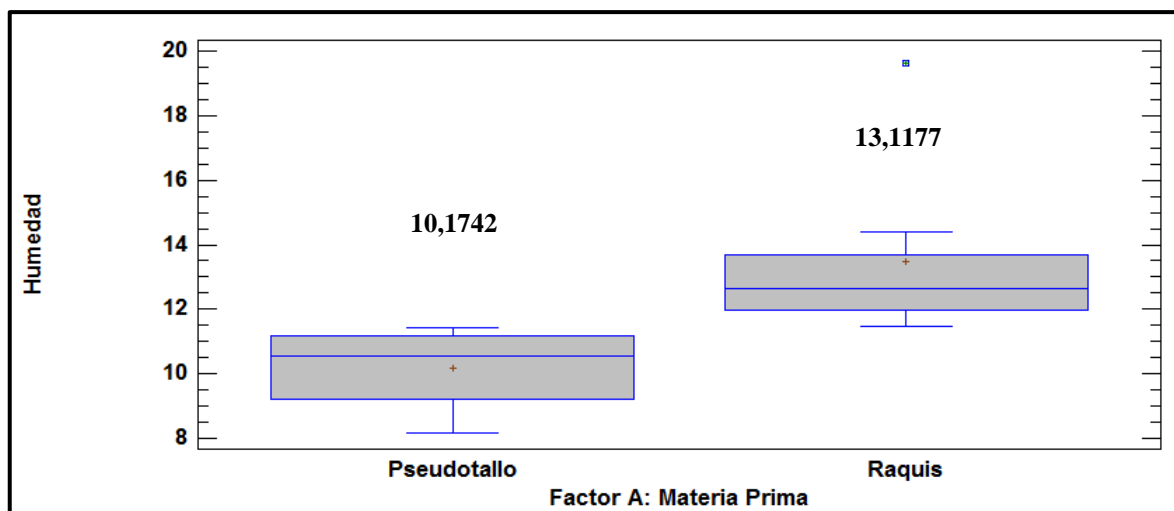
**Gráfico 3 :**Resultados de la diferencia de medias entre los tipos de materia prima utilizada (pseudotallo y raquis de banano) de la prueba de significación Tukey ( $p < 0,05$ ). Espesor



Elaborado por: Zamora, J. (2017)

**Interpretación:** En el gráfico 3 se muestra diferencia significativa en el espesor con un valor mayor de ( $a_0$ ) =3,0296 milímetros en el pseudotallo, mientras que el valor menor se encontró en el raquis con ( $a_1$ ) =2,5331 expresado en milímetros.

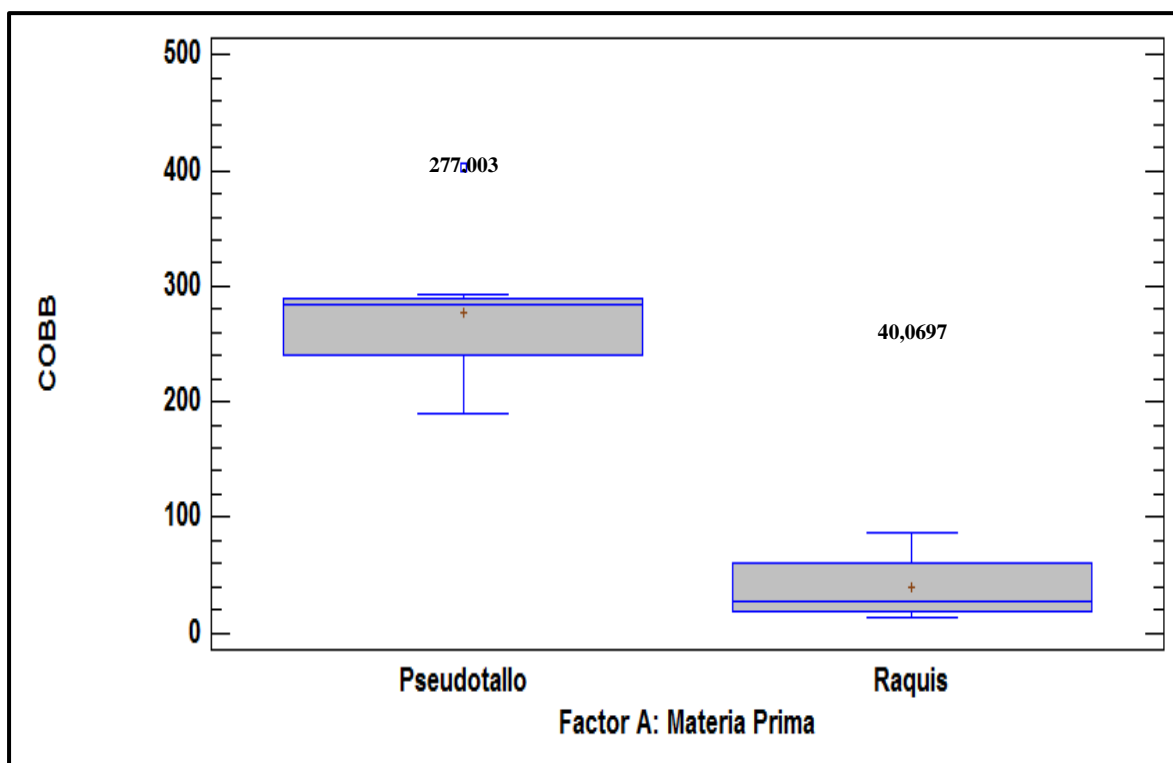
**Gráfico 4:** Resultados de la diferencia de medias entre los tipos de materia prima utilizada (pseudotallo y raquis de banano) de la prueba de significación Tukey ( $p < 0,05$ ). Humedad



Elaborado por: Zamora, J. (2017)

**Interpretación:** En el gráfico 4 se observó diferencia significativa en cuanto a la humedad donde se halla un valor mayor en el raquis de 13,1177 % ( $a_1$ ) de humedad, mientras que el valor menor se encontró en el pseudotallo con 10,1742% ( $a_0$ ) de humedad.

**Gráfico 5:** Resultados de la diferencia de medias entre los tipos de materia prima utilizada (pseudotallo y raquis de banano) de la prueba de significación Tukey ( $p < 0,05$ ). Absorción de agua por el método Cobb

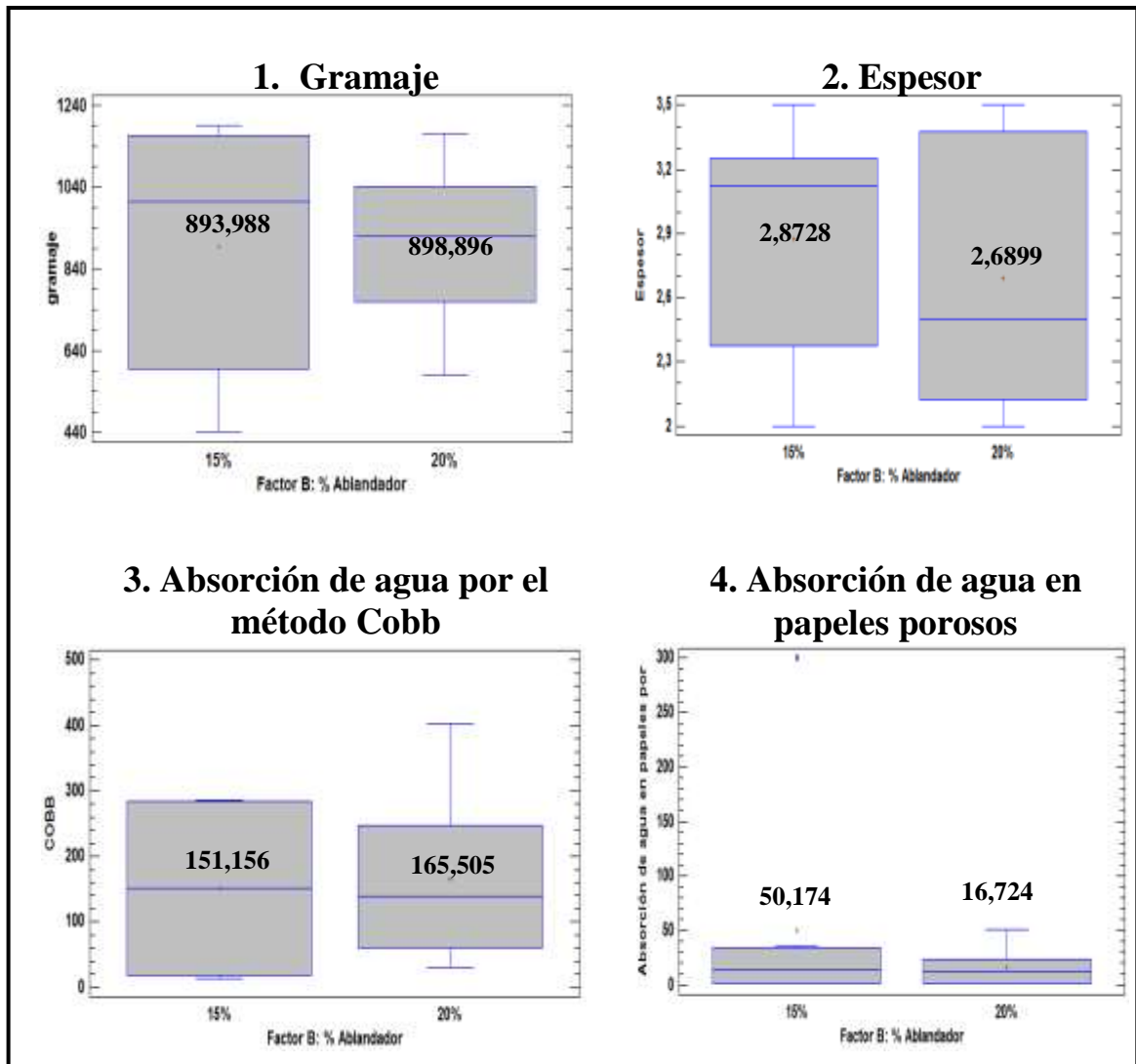


Elaborado por: Zamora, J. (2017)

**Interpretación:** El gráfico 5 indica diferencia significativa en cuanto a la absorción de agua en g/m<sup>2</sup> en el cartón, el valor más alto se observa en el cartón obtenido del pseudotallo ( $a_0 = 277,003$ ), y el valor más bajo en el raquis ( $a_1 = 40,0697$ ).

#### 4.2.2. Determinación de los resultados la concentración de hipoclorito de sodio (lejía) que proporcione mejores características en el ablandamiento de la fibra de la materia prima con respecto al factor B (porcentaje de ablandador)

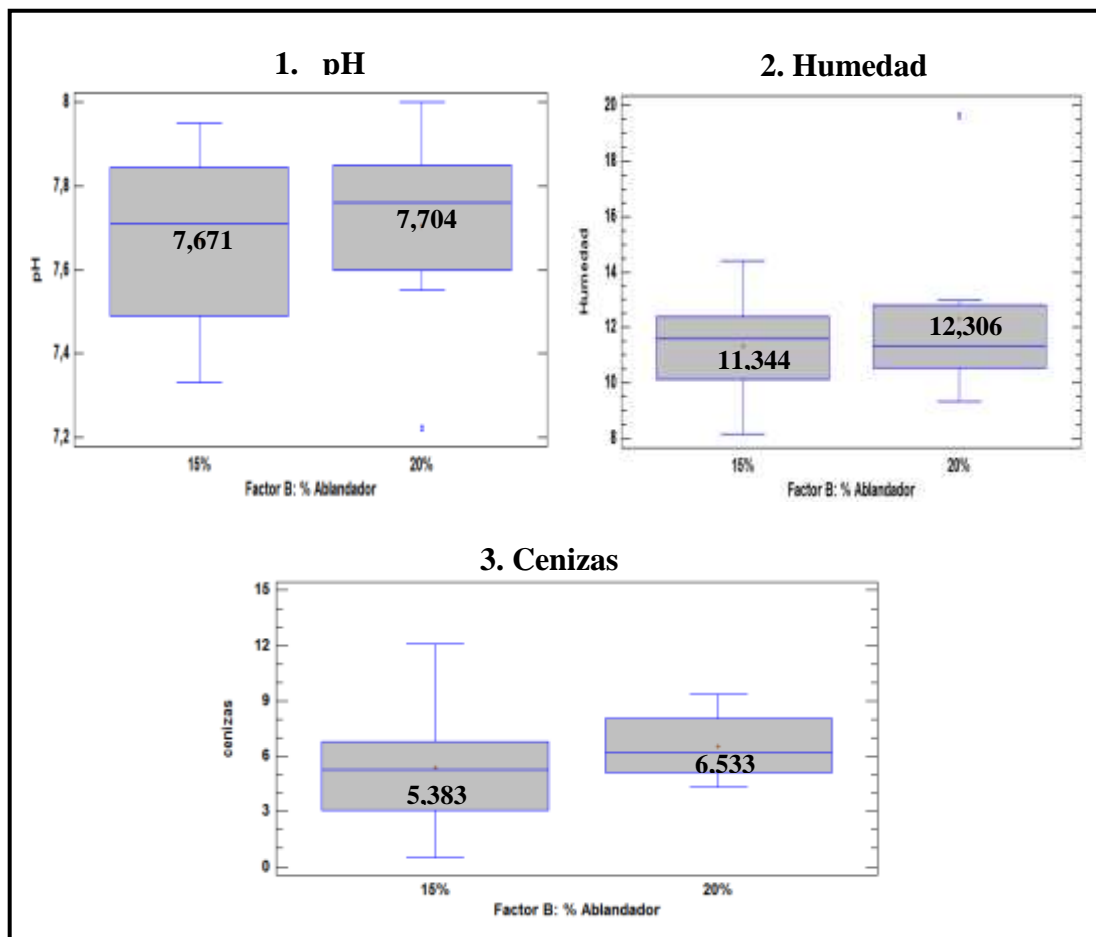
**Gráfico 6:** Resultados de la diferencia de medias entre las concentraciones de ablandador utilizado (15% y 20%) de la prueba de significación Tukey ( $p < 0,05$ ). 1. Gramaje; 2. Espesor; 3. Absorción de agua por el método Cobb; 4. Absorción de agua en papeles porosos.



Elaborado por: Zamora, J. (2017)

**Interpretación:** En el gráfico 6, no presentó diferencia significativa el gramaje, se obtuvieron valores similares en la concentración al 15% ( $b_0$ ) 893,988  $g/m^2$ , en lo que respecta a la concentración al 20% ( $b_1$ ) se obtuvo un valor de gramaje (898,896  $g/m^2$ ). El espesor presentó también valores afines en cuanto a las concentraciones al 15% ( $b_0$ ) con 2,8728 mm y la concentración al 20% ( $b_1$ ) arrojó un valor de 2,6899. La absorción de agua por el método Cobb tampoco presentó diferencia significativa con un valor de 151,156  $g/m^2$  de agua absorbida al 15% ( $b_0$ ) de concentración siendo semejante al 20% ( $b_1$ ) con un valor de 165,505  $g/m^2$  de agua absorbida. La determinación de la absorción de agua en papeles porosos mostró diferencia, pero no fue significativa en cuanto a los análisis expuestos en la investigación, al 15% ( $b_0$ ) de concentración con un valor más alto de 50,174 segundos y el valor más bajo al 20% ( $b_1$ ) de concentración 16,724 segundos.

**Gráfico 7:** Resultados de la diferencia de medias entre las concentraciones de ablandador utilizado (15 % y 20 %) de la prueba de significación Tukey ( $p < 0,05$ ). 1.pH; 2. Humedad; 3. Cenizas

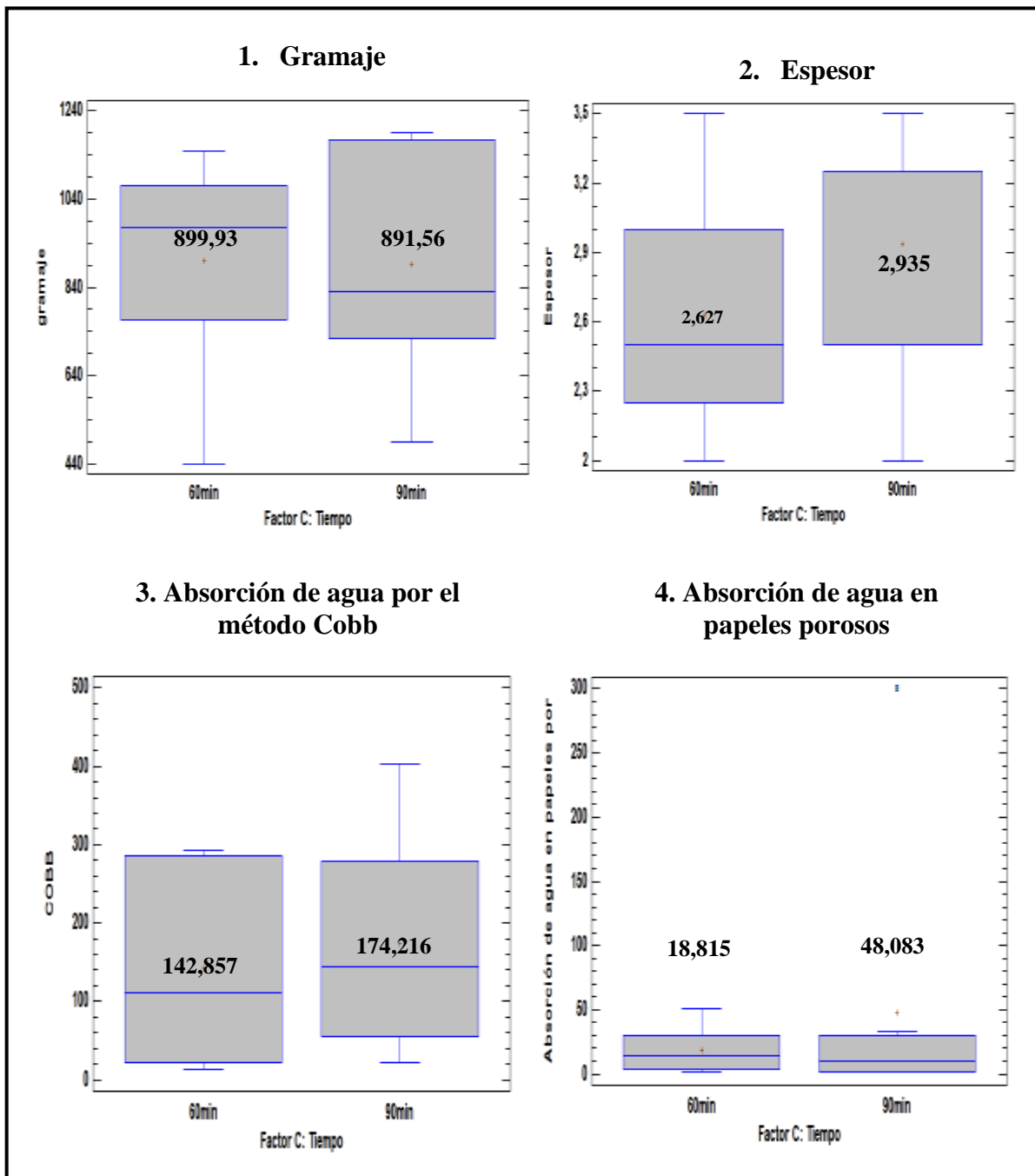


Elaborado por: Zamora, J. (2017)

**Interpretación:** El gráfico 7, muestra el efecto que tiene la concentración del ablandador (hipoclorito de sodio) en la fibra. En los valores de pH determinado en el licor de cocción de la fibra en los cuales no se encontró diferencia significativa, en la concentración al 15% ( $b_0$ ) 7,671 , en lo que respecta a la concentración al 20% ( $b_1$ ) un pH de 7,704. La humedad no presentó diferencia significativa, teniendo valores de ( $b_0$ )= 11,344 y ( $b_1$ )= 12,306 en cuanto a concentraciones de 15 % y 20 % respectivamente. No se encontró diferencia significativa en la determinación de cenizas tanto al 15 % de concentración con un valor de 5,383 ( $b_0$ ) y al 20 % de concentración con un valor de 6,533 ( $b_1$ ).

**4.2.3. Establecimiento de los resultados el tiempo de cocción en el ablandamiento de la fibra que imprima las mejores características de calidad en el producto final con respecto al factor C (tiempo de cocción)**

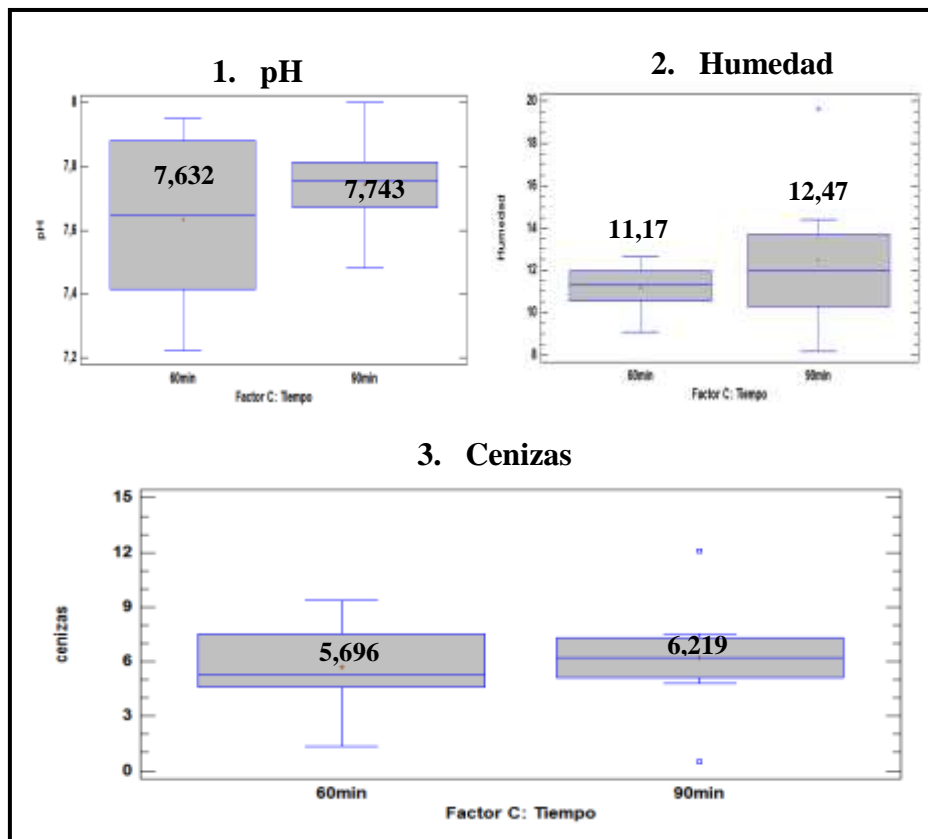
**Gráfico 8:** Resultados de la diferencia de medias entre los tiempos de cocción utilizados (60 minutos y 90 minutos) de la prueba de significación Tukey ( $p < 0,05$ ). 1. Gramaje; 2. Espesor; 3. Absorción de agua por el método Cobb; 4. Absorción de agua en papeles porosos.



Elaborado por: Zamora, J. (2017)

**Interpretación:** En el gráfico 8 se muestra que no existe diferencia significativa en el gramaje con un valor de  $899,93 \text{ g/m}^2$  arrojado en el tiempo de cocción de 60 minutos ( $c_0$ ) y  $891,56 \text{ g/m}^2$  en el tiempo de cocción de 90 minutos ( $c_1$ ). En cuanto al espesor el valor más alto se mostró en los 90 minutos de cocción ( $c_1$ ) con 2,935 mm y el más bajo a los 60 minutos de cocción ( $c_0$ ) con 2,627 pero con valores muy afines entre sí. En el análisis de la absorción de agua por el método Cobb luego de un tiempo de cocción de 60 y 90 minutos aplicados, se obtuvieron valores de  $142,857 \text{ g/m}^2$  de agua ( $c_0$ ) y  $174,216 \text{ g/m}^2$  de agua ( $c_1$ ) respectivamente. Y la absorción de agua en papeles porosos no demostró diferencia significativa en los valores adquiridos, siendo en el tiempo de cocción de 60 minutos ( $c_0$ )= 18,815 segundos y en el tiempo de cocción de 90 minutos ( $c_1$ )= 48,083. Cabe recalcar que en éste último análisis a pesar de que se aprecia una diferencia de valores en los tratamientos, los datos evaluados en el diseño de experimentos descartaron diferencia significativa entre los valores.

**Gráfico 9:** Resultados de la diferencia de medias entre los tiempos de cocción utilizados (60 minutos y 90 minutos) de la prueba de significación Tukey ( $p < 0,05$ ). 1. pH; 2. Humedad; 3. Cenizas



Elaborado por: Zamora, J. (2017)

**Interpretación:** En el gráfico 9, se muestra que no existe diferencia significativa en el valor del pH luego de 60 minutos de cocción de la fibra siendo ( $c_0$ ) 7,632 y con 90 minutos de cocción ( $c_1$ ) 7,743 respectivamente. Así mismo el porcentaje de humedad obtenido en el cartón, presentaron valores de en el tiempo de cocción de la fibra de 60 minutos ( $c_0$ ) 11,17 % y con 90 minutos de cocción ( $c_1$ ) 12,47 %. En la determinación del contenido de cenizas también hubo una variación pero que no conlleva una significancia, el tiempo de cocción de 60 minutos ( $c_0$ ) presentó valores de 5,696 grados, mientras que en el tiempo de cocción de 90 minutos ( $c_1$ ) con 6,219.

#### **4.2.4. Determinación de los resultados de las características físicas y químicas del tipo de cartón obtenido usando la metodología de la presente investigación**

Se observa que en los cartones a base de pseudotallo según sus características físicas y químicas tienen los siguientes usos:

**Tabla 20:** Tipos de cartón con respecto a sus características y su aplicación en la industria cartonera.

Tratamiento	Características físicas	Tipo de cartón	Usos/aplicación
Réplica 1 (pseudotallo)			
<b>a0b0c0</b> <b>Pseudotallo+15%+60min</b>	Gramaje:400 g/m <sup>2</sup> Espesor: 2mm  pH: 7,33	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cartoncillo</li> <li>• Cartón cromo</li> <li>• Cartón tipo copa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Para presentación de productos de perfumería, joyería y similares.</li> </ul>
<b>a0b0c1</b> <b>Pseudotallo+15%+90min</b>	Gramaje:490 g/m <sup>2</sup> Espesor:3mm  pH: 7,69		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede ser utilizado dentro de camisas de hombre, collares y envases de medias.</li> </ul>
<b>a0b1c0</b> <b>Pseudotallo+20%+60min</b>	Gramaje:580 g/m <sup>2</sup> Espesor: 2,25mm  pH: 7,74		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Como embalajes de tazas y platos.</li> </ul>
<b>a0b1c1</b> <b>Pseudotallo+20%+90min</b>	Gramaje:750 g/m <sup>2</sup> Espesor: 3,25mm  pH: 7,84	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cartón para enmarcar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Para decoración de cuadros.</li> </ul>

Elaborado por: Zamora, J. (2017)

**Interpretación:** En la tabla 20 se pueden observar los tipos de cartones que se obtuvieron en la investigación con la metodología aplicada en ésta, siendo el pseudotallo en este caso el residuo aprovechado de la *Musa acuminata cavendish* como materia prima. Se presentan sus respectivas características físicas y químicas de más relevancia en el cartón, los usos o aplicaciones en las que puede incurrir en la industria.

**Tabla 21:** Tipos de cartón con respecto a sus características y su aplicación en la industria cartonera.

<b>Tratamiento</b>	<b>Características físicas y químicas</b>	<b>Tipo de cartón</b>	<b>Usos/aplicación</b>
<b>Réplica 2 (pseudotallo)</b>			
<b>a0b0c0</b> <b>(Pseudotallo+15%+60min)</b>	Gramaje:990 g/m2 Espesor: 3,5mm pH: 7,5	Sin definir	Uso en la producción de cubetas para huevos.
<b>a0b0c1</b> <b>(Pseudotallo+15%+90min)</b>	Gramaje:700 g/m2 Espesor:3,25mm pH: 7,48	Sin definir	También en moldes en forma de cubetas biodegradables para el sembrío de plantas.
<b>a0b1c0</b> <b>(Pseudotallo+20%+60min)</b>	Gramaje:1120g/m2 Espesor: 3,5mm pH: 7,22	Sin definir	
<b>a0b1c1</b> <b>(Pseudotallo+20%+90min)</b>	Gramaje:890 g/m2 Espesor: 3,5mm pH: 7,65	Sin definir	

Elaborado por: Zamora, J. (2017)

**Interpretación:** en la tabla 21 se muestran los tratamientos de la réplica 2 originados del pseudotallo de la *Musa acuminata cavendish* con sus respectivos tipos de cartón obtenidos, sus usos en la industria y el mercado. Se observan sus características físicas y químicas que definen mejor el producto.

**Tabla 22:** Tipos de cartón con respecto a sus características y su aplicación en la industria cartonera.

<b>Réplica 1 y 2 (raquis)</b>			
<b>Tratamiento</b>	<b>Características físicas</b>	<b>Tipo de cartón</b>	<b>Usos/aplicación</b>
<b>a1b0c0 (raquis+15%+60min)</b>	Gramaje:1020-1150 g/m2 Espesor: 2,25-2,5mm Absorción de agua: pH: 7,9	Cartón tipo gráfico (fuerte y plano) Cartón acuarela	Para cubrir libros de tapa dura carpetas de tres anillos y puede ser usado para la fabricación de piezas de rompecabezas Para trabajos artísticos en lienzos
<b>a1b0c1 (raquis+15%+90min)</b>	Gramaje:1180-1190 g/m2 Espesor:3,25mm Absorción de agua: pH: 7,7		
<b>a1b1c0 (raquis+20%+60min)</b>	Gramaje:959-960 g/m2 Espesor:2,50mm Absorción de agua: pH: 7,55-7,86		
<b>a1b1c1 (raquis+20%+90min)</b>	Gramaje:770-1170 g/m2 Espesor: 2mm Absorción de agua: pH: 7,78-8,00		

Elaborado por: Zamora, J. (2017)

**Interpretación:** En la tabla 22 se muestra que los cartones obtenidos a base de raquis tanto en la repetición/réplica 1 como en la 2 presentan características óptimas como alto gramaje, espesor, absorción de agua mínimamente baja, y un pH de valor aceptable dentro de los rangos establecidos, se detallan los tratamientos con los usos de mayor potencial en la industria.

### **4.3. Discusión**

#### **4.3.1. Discusión de resultados con respecto al factor A (tipo de materia prima)**

En lo que respecta al factor A (tipo de materia prima utilizada para la obtención de cartón) se determinaron valores de pH en el licor de cocción comprendidos en  $a_0$  (pseudotallo) = 7,5567 ;  $a_1$  (raquis) = 7,8188 , los cuales están en un rango aceptable según lo establecido por la norma ISO 9706 , el valor del pH del extracto acuoso o licor de cocción debe estar en un rango de 7,5 a 10,0 valores que según Juan Facundo Araujo (2011) en su recopilación de Requerimientos Establecidos Por Las Normas ISO se encuentran dentro de la escala aceptable.

Incluso eso aplica para papeles y cartones encolados y de reserva alcalina, elementos que no fueron empleados en este proyecto de investigación, sin embargo, a pesar de la composición química del hipoclorito de sodio (lejía) este entró en el rango de aceptación después de un lavado total de la fibra, con el cual se eliminaron restos de lignina y cualquier mineral presente que impida obtener un cartón de buenas características y con larga vida útil.

En cuanto a los análisis de gramaje efectuados sobre el cartón obtenido, arrojaron los siguientes valores:  $a_0$  (pseudotallo) = 744,294 y  $a_1$  (raquis)= 1048,59, los cuales se encuentran en un rango intermedio con el valor más alto de 897,5  $gr/m^2$ , obtenido en los resultados de la investigación Elaboración de cartón a partir de papel reciclado expuestos por Reyna M. Leoncio, Robles C. Roberto, Toyohama A. Lucia y Canales G. Van (2014) debido a que usaron un sólo producto como materia prima para la obtención de cartón, tomaron como muestras papel reciclado el cual ya cuenta con modificaciones físicas y químicas cuando fue procesado, caso contrario de esta investigación en la cual, se tiene un menor gramaje en el cartón elaborado a base de pseudotallo y un valor más alto en el raquis por su contenido de agua, celulosa y fibra virgen. Además, de que las revoluciones ejercidas durante el licuado de la fibra influyen en el gramaje de un cartón, ya que el tamaño de la fibra va aumentando y se obtiene un incremento de los enlaces químicos formados por puentes de hidrógeno al entrar en contacto con el agua de licuado, dándole al cartón mayor compactación.

Los valores del espesor por otro lado reportaron que  $a_0$  (pseudotallo) = 3,0296 mm y  $a_1$  (raquis) = 2,5331, a diferencia de los valores que señala Reyna M. Leoncio, Robles C. Roberto, Toyohama A. Lucia y Canales G. Van (2014) en su investigación Elaboración de cartón a partir de papel reciclado, en donde presentan valores desde 0,20mm hasta 2,40 mm de espesor en el cartón que obtuvieron a base de papel bond reciclado, demostrando de acuerdo a dichos resultados que el tipo de materia prima utilizada para la obtención de cartón influye en características físicas como esta, de la misma manera el prensado que se ejerce en la pasta celulósica en la formación del cartón.

Con respecto a los resultados obtenidos de la humedad se hallaron valores de  $a_0$  (pseudotallo) = 10,17% de humedad mientras que  $a_1$  (raquis) = 13,11% de humedad, en contraste con Namasivayam Navarajan, Alan Dickson, Jouni Paltakari y Kai Ilmonen (2013) en su investigación de: “Efecto de la humedad sobre la deformación compresiva en papeles y cartones reciclados y vírgenes”, donde el contenido medio de humedad del cartón que se analizó fue de 8, 7, 15 y 14%.; de tal manera que se encuentran en un rango intermedio los valores encontrados en esta investigación. La variación de estos niveles de humedad se debió al contenido de las diferentes fibras utilizadas en la investigación. La composición del material lignocelulósico del raquis es más higroscópica y absorbe mayor contenido de humedad del ambiente mientras que el pseudotallo menos higroscópico, por lo que presenta valores más bajos de humedad. Estando todavía en los rangos permisibles de humedad.

El efecto que tiene la materia prima en la obtención de cartón correspondiente a la absorción de agua realizado por el método Cobb en el producto final, arrojaron los siguientes valores: se registró una mayor cantidad de absorción de agua en  $a_0$  (pseudotallo) = 277,003 y la de menor valor  $a_1$  (raquis) = 40,0697, valores de los cuales el obtenido en el cartón a base de pseudotallo entra en el rango según el reporte hecho por Aguilar Rivera, Noé; Houbron, Eric; Rustrian, Elena; Reyes Alvarado, Luis Carlos (2014) en su estudio de papel amate de pulpa de café (*coffea arabica*) (residuo de beneficio húmedo), donde señalan que el análisis físico Cobb comprende valores de 141,88 hasta 790,76 g/m<sup>2</sup> debido a que usaron residuos lignocelulósicos provenientes del cultivo de café, fibra que difiere en características del pseudotallo ya que este presenta una estructura celular menos compacta; es decir espacios interfibrilares más separados los cuales se asemejan a un panal de abeja, haciendo más fácil la penetración de agua.

En cuanto al valor de Cobb identificado en el cartón a base de raquis se distingue que está muy por debajo del valor expresado por Aguilar Rivera, Noé; Houbron, Eric; Rustrian, Elena; Reyes Alvarado, Luis Carlos (1983), tomando en cuenta que el cartón que se obtuvo en esta investigación no cuenta con un encolado, siendo de esta manera aún más satisfactorios los resultados de la prueba de absorción Cobb. Ya que este tipo de método de control de calidad del cartón es específicamente para papeles y cartones no porosos (encolados) según lo establecido por la INEN 1400.

Se puede entender que la fibra del pseudotallo tiene menor compactación de estas entre sí, siendo más propenso a la absorción de agua, lo opuesto al cartón elaborado a base de raquis, en el cual existe un mayor entrelazado de las fibras, haciendo de difícil penetración las sustancias líquidas como el agua.

#### **4.4. Tratamiento de Hipótesis**

De acuerdo a las hipótesis establecidas:

- ✓ Considerando el tipo de materia prima (pseudotallo y raquis) influyen directamente sobre la calidad final del cartón, por lo cual se rechaza la hipótesis nula “Ho: El tipo de materia prima (pseudotallo y raquis) no influirá en la calidad de cartón”.
- ✓ Con base en los resultados obtenidos sobre los porcentajes de ablandador en la calidad final del cartón obtenido del pseudotallo y raquis, estos no influyen en el ablandamiento de la materia prima analizada; por lo que se acepta la hipótesis nula planteada “Los porcentajes de ablandador no influirán en la calidad final del cartón obtenido del pseudotallo y raquis”.
- ✓ Referente a los tiempos de cocción de la fibra (60-90 minutos), ya que no influye en la calidad final del cartón se da paso a la hipótesis nula “El tiempo de cocción no influirá en la calidad final del cartón obtenido del pseudotallo y raquis”.

**CAPITULO V**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 5.1. Conclusiones

- ✓ Se determinó que cada cartón producido aporta con características específicas para diferentes usos ya que tanto el pseudotallo como raquis son residuos orgánicos con contenido de celulosa favorable, mencionando que el cartón a base de pseudotallo no presenta características físicas muy resistentes en cuanto al contacto con el agua, pero, presenta un gramaje  $744,29 \text{ g/m}^2$ , espesor  $3,0296 \text{ mm}$  y un porcentaje de humedad  $10,17\%$  dentro de los rangos de calidad aceptables y no por eso se descarta su uso ya que se lo puede utilizar en otro tipo necesidades en la industria.

El raquis como subproducto en la obtención de cartón proporciona mejores características tanto físicas como químicas, lo que se traduce a un cartón con baja absorción de agua a pesar de no poseer agentes encolantes, un gramaje promedio ideal de  $1048,59$ , un espesor  $2,5331 \text{ mm}$ , humedad de  $13,11\%$  aceptable, y además un pH de  $7,81$  que está dentro de los rangos que le confieren una vida útil larga y resistente, uno de sus mejores características es la resistencia a la absorción de agua.

Encontrando buenos resultados en el tratamiento  $a_{1b0c1} = 300 \text{ s}$ , lo cual indica que es un cartón con una óptima compactación de las fibras de acuerdo al análisis de calidad comprobado no sólo por la determinación de absorción de agua en papeles porosos, también por la determinación de absorción de agua en papeles y cartones (no porosos) encolados (Cobb).

Siendo residuos agroindustriales aceptables y muy viables para la industrialización y obtención de cartón con características de buena calidad, reemplazando la materia prima convencional como la madera y convirtiéndose en una solución a la contaminación generada en la industria bananera después de sus labores de cosecha.

- ✓ En lo que concierne a las concentraciones de hipoclorito de sodio (lejía) que proporcionó mejores características en el ablandamiento de la fibra en cada una de las materias primas procesadas para la obtención de cartón, se concluye que, en cuanto al pseudotallo las concentraciones del 15 % y 20 % de lejía aplicadas en la cocción del mismo tienen similar eficacia, las cuales influyen en un ablandamiento de fibra óptimo ya que en el refinado se observa una pulpa celulósica con menos haces fibrilares lo que repercute en las propiedades físicas de la misma y en la apariencia del producto final, lo que supone que a las dos concentraciones de lejía aplicadas sobre el pseudotallo la eliminación de lignina es eficiente. En cuanto a la concentración de lejía en el desfibrado de raquis, se obtuvo resultados acertados con los dos niveles de estudio tanto el 15% como el 20% de hipoclorito de sodio (lejía), ya que la fibra que se obtuvo presentó un aspecto blando al tacto, se desintegró con facilidad, refinó y moldeó más rápido la pasta obtenida; tomando en cuenta que en la desintegración hubo una mayor disolución de lignina, en el refinado se requirió de menos energía con relación al tiempo y las RPM, y, en el moldeo la pasta celulósica obtenida tomó la forma del molde en menos tiempo, hubo una mayor compactación de las fibras durante el prensado lo que dará mejores características de calidad al cartón.

Por lo general a concentraciones de 20% existe una mejor ganancia de celulosa y una deslignificación más óptima de la fibra, debido a que se rompe la red hidrofóbica que crea la lignina a través de las paredes fibrilares de la materia prima (pseudotallo y raquis) al contacto con el agua, la degradación de esta se traduce a una pasta con alta resistencia mecánica. Esto permite un mejor refinado de pastas celulósicas para la obtención de cartón. Pero en esta investigación los resultados obtenidos son eficientes con las dos concentraciones de hipoclorito de sodio aplicadas sobre los residuos empleados para producir cartón.

- ✓ En lo que respecta al mejor tiempo de cocción de la fibra, se concluye que, tanto a menor como a mayor tiempo, es decir, 60 minutos y 90 minutos de cocción favorecen las características de la pulpa. Tanto en el ablandamiento y la posterior separación de lignina y otros componentes de la celulosa, además de que contribuye a un refinado más rápido y eficaz.

- ✓ De acuerdo a qué tipo de cartón se obtuvo en esta investigación con la metodología presentada, se encontraron en los tratamientos producidos una variedad de cartones con diferentes usos.

Se detallan los tipos de cartón en los resultados de: tabla 20, tabla 21 y tabla 22.

El tratamiento **a1b0c1 R2** puede tener posibilidades de uso en el tipo de cartón sólido por su resistencia al agua (300 s), alto gramaje ( $1190 \text{ g/m}^2$ ) y espesor (3,25 mm), su uso puede ser para tabla de madera con apretador de tamaño oficina (utilizado como archivador de documentos, hojas, etc.). Otro tipo de cartón que arroja este proyecto de investigación con raquis como materia prima es, el cartón gris que tiene las siguientes especificaciones de calidad según fuentes investigadas: gramaje ( $740\text{-}2469 \text{ g/m}^2$ ), espesor (1,2-4,0mm), sus aplicaciones son para encuadernación, agendas, archivadores, carpetas.

- ✓ En cuanto al contenido de cenizas, se halló un mayor porcentaje de estas en el tratamiento **a1b0c1** con **12,06%**, lo que indica más presencia de minerales consecuencia de los residuos químicos de lejía usada durante la etapa de ablandamiento de la materia prima o a su vez material metálico del recipiente de cocción. Se puede concluir que tal vez la fibra obtenida después del ablandamiento no tuvo un buen lavado quedando restos de materia inorgánica.

Después de haber terminado con la parte experimental de esta investigación, se concluye satisfactoriamente que los residuos de banano como materia prima para la obtención de cartón es efectivamente viable gracias a su contenido de celulosa.

## 5.2. Recomendaciones

- ✓ A pesar de los excelentes resultados obtenidos en la investigación, aún son necesarios más estudios para llevar este proceso a escala industrial. Dentro de estos están el análisis mecánico como la prueba de resistencia a la explosión y la tracción de la lámina de cartón, y técnicas para realizar la cocción a grandes escalas de este residuo. Además, realizar el prensado con los equipos adecuados para obtener un cartón de mejores características físicas y mecánicas.
- ✓ Disminuir la producción de cartones que provengan de fibras vírgenes procedentes de bosques y plantaciones. Dar preferencia a cartones que provengan de fibras alternativas no madereras (residuos del banano, arroz, bagazo de caña, residuos de corona de piña, entre otros), siempre y cuando el análisis de calidad y ciclo de vida de estos cartones indiquen que son amigables con el ambiente con respecto a otras fuentes de fibra virgen.
- ✓ El uso de cartón a base de raquis en la elaboración y montaje de tumbados para casas y demás. La elaboración de productos de tipo aglomerado con los residuos de la industria bananera. Y la investigación de una posible producción de productos como corchos.
- ✓ Poner énfasis en la búsqueda y agregado de aditivos que mejoren la consistencia y propiedades físicas, mecánicas y estéticas del cartón obtenido: un mejor brillo, mayor flexibilidad, etc.
- ✓ Basados en los resultados obtenidos en esta investigación, la industria papelera y cartonera ecuatoriana, o los mismos dueños de bananeras interesados en dicha industria y el medio ambiente pueden considerar el pseudotallo y raquis de la *Musa acuminata cavendish* como materia prima para la producción de pulpas celulósicas a escala industrial ya que los resultados obtenidos a nivel experimental han sido aceptables dentro de las normas de calidad.

- ✓ Realizar investigaciones de obtención de cartón con el uso de hipoclorito de sodio (lejía en escamas, ya que tiene una concentración mayor de Na(OH) que el hipoclorito de sodio (lejía) en gel, además tiene un mayor rendimiento de ablandador.

**CAPITULO VI**  
**BIBLIOGRAFÍA**

## 6.1. Bibliografía

- [1] J. Turrado, A. R. Saucedo, R. Sanjuán y B. Sulbaran, Celulosa y papel, Jalisco-México.
- [2] Gobierno del Estado de Colima, «Paquete tecnológico para el cultivo del plátano, INIFAP.,» *Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro/Campo Experimental Tecoman.*, pp. 8-10, 2005.
- [3] C. Belalcazar, J. Valencia y J. Lozada, Manual de asistencia técnica No 50 ICA, Cali, 1991.
- [4] F. Vidal, E. Pereira, R. Sotolongo, Y. Quintana, A. Ortiz, A. García y L. y. J., «Efecto de la suplementación con pseudotallo de plátano sobre la salud y el peso al sacrificio de cerdos comerciales,» *Revista Producción Animal*, vol. XIII, n° 1, pp. 67-69, 2001.
- [5] I. S. Saval, México, D.F..
- [6] M. Soto, Bananos: cultivo y comercialización, San José, 1992.
- [7] E. Fouré, Les Cercosporioses du bananier et leurs traitements comportement des variétés. Etude de la sensibilité variétale des bananier et plantains a *Mycosphaerella fijiensis* Morelet au Gabon, 1985.
- [8] J. Robinson, Plátanos y Bananos., España: Mundi-Prensa, 2011.
- [9] R. Ortiz, A. López, S. Ponchner y A. Segura, El cultivo del banano, 1999.
- [10] Sociedad española de productos húmicos, s.a., «BANANOS EXÓTICOS PREPARACIÓN DE LOS SUELOS DE CULTIVO, FERTILIZACIÓN, BIOESTIMULACIÓN DE CRECIMIENTO Y DE DEFENSAS DEL “BANANO MANZANO” ECOLÓGICO,» *Noticias Sephu*, pp. 1-9, 2009.
- [11] M. Agustí, Fruticultura, México, 2010.
- [12] A. F, Principales Tecnologías Generadas para el manejo del Cultivo de Banano, Plátano y otras Musáceas, Quito, 2008.
- [13] M. Huaman, Diagnostico de la cadena de valor del banano en el valle del chira piura, Piura, 2005.
- [14] M. Bao, S. Delgado y M. & T. M. García, «Aprovechamiento de residuos de plataneras.,» *Revista Agroquim Tecnol Aliment.*, pp. 24-30, 1987.
- [15] INFOMUSA, Producción industrial de papel en base a la fibra del banano, 1994.

- [16] Plantain, International Network for the Improvement of Banana and, «Annual Report,» 1997.
- [17] A. Duque y Y. Bohórquez, Modelo para la determinación de pérdidas post cosecha del plátano Dominico-Hartón (Musa ABB SIMMONDS), 2000.
- [18] E. Flores Gorosquera, F. J. García Suárez, E. Flores Huicochea, M. Nuñez Santiago, R. González Soto y L. Bello Pérez, Rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de frutos de plátanos, 2004.
- [19] M. Ovando Martínez, E. Agama Acevedo y L. Bello Pérez, Digestibilidad in vitro del almidón en espagueti adicionado con almidón de plátano, México, 2007.
- [20] M. Shedden, “Estudio de raquis de banano (Musa giant cavendishii Labert) e investigación de sus posibles usos”, San José: Universidad de Costa Rica, 1978.
- [21] ECURED, [En línea]. Available: <https://www.ecured.cu/Lej%C3%ADa>. [Último acceso: 13 Octubre 2017].
- [22] C. Pérez Sánchez, Lejías para la limpieza de superficies: nuevas formulaciones y desarrollo de procesos, 2005.
- [23] B. Becerra Aguilar, J. d. J. Rivera Prado, J. d. J. Vargas Radillo, R. Ramírez Casillas y F. Navarro Arzate, Procesos de la elaboración del papel para la producción de cartón corrugado, México: Universidad Don Bosco, 2014.
- [24] B. Becerra, J. d. J. Rivera, J. d. J. Vargas, R. Ramírez y F. Navarro, Procesos De La Elaboración Del Papel Para La Producción Del Cartón Corrugado, Guadalajara: Editorial Universidad Don Bosco, 2014.
- [25] J. Hale y R. Mc Donald, Pulp and Paper Manufacture. The pulping of wood., USA, 1969.
- [26] R. Sanjuán, Obtención de Pulpas y Propiedades de las Fibras para Papel., Guadalajara – Jalisco - México.: Universidad de Guadalajara. Primera edición., 1997.
- [27] W. Bublitz y J. Casey, Pulpa y Papel, Química y Tecnología Química. Vol. 1. Cap. 3, pp. 151-208., México: Editorial LIMUSA S.A., 1990.
- [28] R. Jacobs, W. Pan, W. Fuller y W. McKean, Washington Wheat Straw: Variation in Fiber Properties., Montreal, Quebec., 1998.
- [29] L. Jiménez, F. López y I. Sánchez, «Characterization of cellulose pulp from agricultural residues.,» *TAPPI Journal*, Vols. %1 de %274, No 01, pp. 217-221, 1991.
- [30] J. T. Jeyasingam, Practical Experience on Paper Making with Non Wood Fibers. TAPPI Proceedings. Pulping Conference., Montreal, 1998.

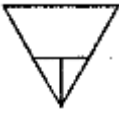

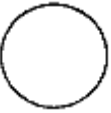

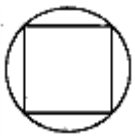

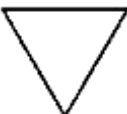
- [31] J. Casey, Pulpa y papel. Química y Tecnología Química, México df: Limusa, S.A., 1991.
- [32] A. A. Peña V., Introducción a la fabricación de pulpa de papel, Colombia, 2003.
- [33] A. Horyath, Horvath, Chemical Methods for Improving the Fracture Toughness of Paper, 2008.
- [34] J. McGovern y J. Casey, Pulpa y Papel, Química y Tecnología Química. Vol. 1., México: Editorial LIMUSA S.A., 1990.
- [35] J. Bryce y J. Casey, Pulpa y Papel, Química y Tecnología Química. Vol. 1. Cap. 4, pp. 456-589., México: Editorial LIMUSA S.A, 1990.
- [36] WIKIBOOKS, «WIKIBOOKS, PROCESAMIENTO DE PAPEL,» 2007. [En línea]. Available: [http://es.wikibooks.org/wikillmpactos\\_ambientales/Procesamiento\\_de\\_](http://es.wikibooks.org/wikillmpactos_ambientales/Procesamiento_de_). [Último acceso: 30 Octubre 2017].
- [37] I. Aitken, F. Cadel y C. Voillot, Constituants fibreux des pates papiers et, 1st edition., 1988.
- [38] G. Hortal, Fibras Papeleras., Terrassa (Spain): Ediciones UPC (Universitat Politècnica de Catalunya), 2007.
- [39] L. A. Roper, «Propiedades físicas y ópticas del papel: Propiedades físicas del papel,» 2008.
- [40] Instituto Ecuatoriano de Normalización, Junio 2013. [En línea]. Available: [http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/EXTRACTO\\_2014/AOC/nte\\_inen\\_iso\\_536extracto.pdf](http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/EXTRACTO_2014/AOC/nte_inen_iso_536extracto.pdf). [Último acceso: 28 Septiembre 2017].
- [41] Asociación Técnica de la Industria de Pulpa y Papel, «Humedad en pulpa, papel y cartón, método de prueba TAPPI/ANSI T 412,» 2016.
- [42] Instituto Ecuatoriano de Normalización, [En línea]. Available: <https://archive.org/stream/ec.nte.1399.1986#page/n7/mode/2up>. [Último acceso: 28 Septiembre 2017].
- [43] Instituto Ecuatoriano de Normalización, 5 Julio 1983. [En línea]. Available: <https://archive.org/details/ec.nte.1400.1986>. [Último acceso: 28 Septiembre 2017].
- [44] Instituto Ecuatoriano de Normalización, 16 Agosto 1983. [En línea]. Available: <https://ia801904.us.archive.org/30/items/ec.nte.1407.1986/ec.nte.1407.1986.pdf>. [Último acceso: 28 Septiembre 2017].

- [45] Asociación Técnica de la Industria de Pulpa y Papel, «Ceniza en madera, pulpa, papel y cartón: combustión a 525°C,» 2002.
- [46] J. F. Araujo, «Requerimientos establecidos por las normas ISO para papeles permanentes.,» *Información, cultura y sociedad*, n° 24, pp. 87-96, 2011.
- [47] L. Reyna, R. Robles C, L. Toyohama A y V. Canales G, «Elaboración de cartón a partir de papel reciclado,» *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, vol. VI, n° 1, pp. 50-54, 2014.
- [48] N. Navarajan, A. Dickson, J. Paltakari y K. Ilmonen, «Efecto de la humedad sobre la deformación compresiva en papeles y cartones reciclados y vírgenes,» *Composites Part B: Engineering*, vol. 45, pp. 965-971, 2013.
- [49] N. Aguilar Rivera, E. Houbroun, E. Rustrian y L. C. Reyes Alvarado, «PAPEL AMATE DE PULPA DE CAFÉ (Coffea arabica) (RESIDUO DE BENEFICIO HÚMEDO),» *Ra Ximhai*, vol. X, n° 3, pp. 103-117, 2014.
- [50] S. R., *Obtención de Pulpas y Propiedades de las Fibras para Papel*. 284 p., Guadalajara – Jalisco - México.: Universidad de Guadalajara. Primera edición., 1997.
- [51] T. E. García, C. A. Fernández de Córdova Blas, M. E. Esquivel Rosales, A. Rodríguez Rivas y J. Vargas Radillo, «Optimización de mezclas fibrosas de *Ricinus communis* L y *Triticum sativum* a la Sosa para papel corrugado,» *Conciencia tecnológica*, n° 44, pp. 51-55, 2012.

**CAPITULO VII**  
**ANEXOS**

## Anexo 1: Diagrama de flujo de proceso para la obtención de cartón a escala artesanal

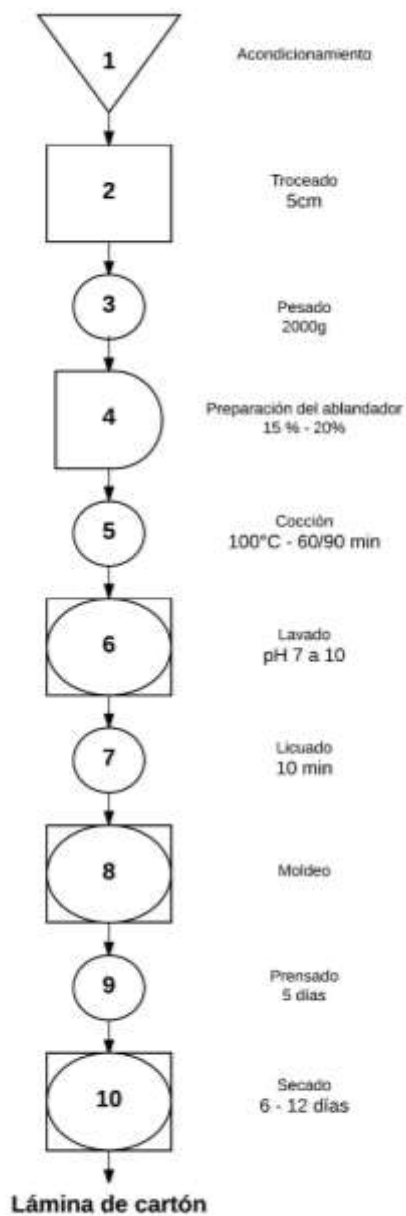
**Tabla 14 :** Descripción de la simbología del diagrama

SÍMBOLO	REPRESENTA	DESCRIPCIÓN
	Almacenamiento temporal	Se almacena transitoriamente antes de iniciar con el siguiente paso
	Control. Inspección y medición	Representa el hecho de verificar la naturaleza, calidad y cantidad de los insumos y productos
	Operaciones	Fases del proceso, método o procedimiento
	Demora	Indica retraso en el desarrollo del proceso, método o procedimiento
	Operación e inspección	Indica la verificación o supervisión durante las fases del proceso, método o procedimiento de sus componentes
	Transportación	Indica el movimiento de material o equipo
	Almacenamiento	Como materia prima en almacenamiento masivo o producto terminado apilado

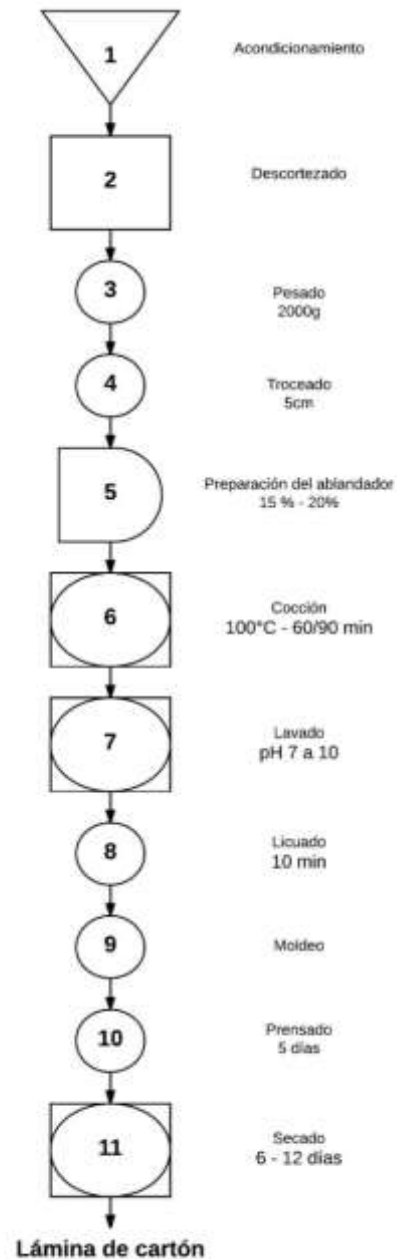
Elaborado por: Zamora, J. (2017)

## Anexo 2: Diagramas de flujo para la elaboración de cartón artesanal

### Cartón a base de Pseudotallo

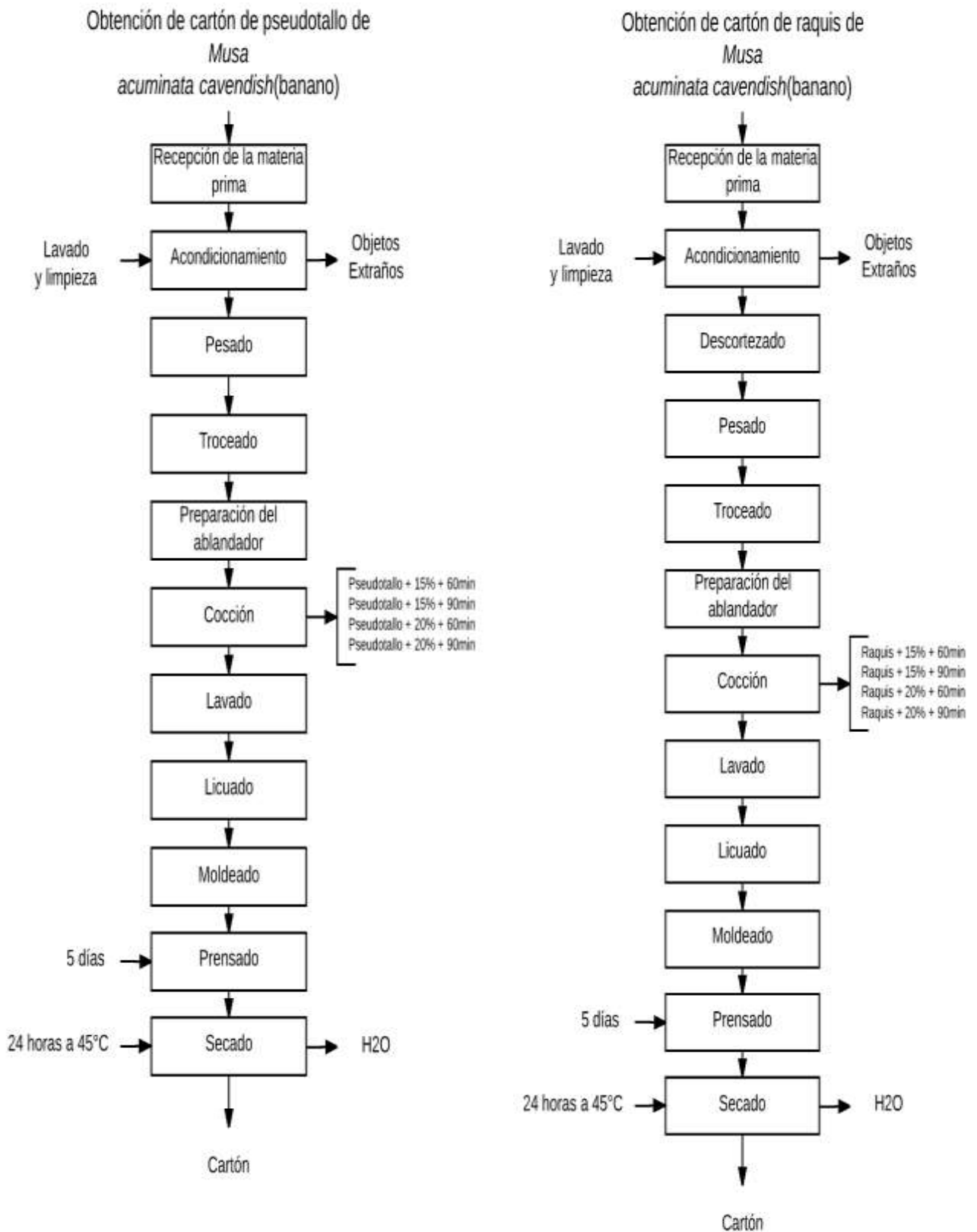


### Cartón a base de Raquis



Elaborado por: Zamora, J. (2017)

### Anexo 3: Flujogramas de proceso para la elaboración de cartón artesanal



## Anexo 4: Datos de los análisis realizados a los tratamientos

Factor A:	Factor B: %	Factor C:	Replicas	Gramaje	Espesor	Humedad	pH	COBB	Cenizas	Absorción
Pseudotallo	15%	60min	1	440	2	9,09	7,33	285,9	1,3267	1,15
Pseudotallo	15%	90min	1	490	3	8,16	7,69	281,9	0,5171	1,71
Pseudotallo	20%	60min	1	580	2,25	10,34	7,74	190,3	4,3305	7,13
Pseudotallo	20%	90min	1	750	3,25	9,33	7,84	202,4	7,0464	1,97
Raquis	15%	60min	1	1020	2,25	11,76	7,95	14,2	6,0325	36,38
Raquis	15%	90min	1	1180	3,25	14,41	7,79	24,6	12,0639	32,64
Raquis	20%	60min	1	950	2,50	12,63	7,55	33,5	9,3625	51,18
Raquis	20%	90min	1	1170	2	19,66	8	86,8	5,4851	27,3
Pseudotallo	15%	60min	2	990	3,5	11,11	7,5	284,7	5,7219	5,05
Pseudotallo	15%	90min	2	700	3,25	11,43	7,48	276,8	4,7846	1,77
Pseudotallo	20%	60min	2	1120	3,5	10,71	7,22	293,1	9,0237	1,91
Pseudotallo	20%	90min	2	890	3,5	11,24	7,65	402,9	6,9512	1,12
Raquis	15%	60min	2	1150	2,50	12,17	7,9	13,6	4,8618	23,96
Raquis	15%	90min	2	1190	3,25	12,61	7,73	22,8	7,5454	300
Raquis	20%	60min	2	960	2,50	11,46	7,86	30,9	4,8176	21
Raquis	20%	90min	2	770	2	12,99	7,78	87,3	5,4155	17,8

**Anexo 5: Tabla de medias del Factor A (Materia prima), del Factor B (Porcentaje de ablandador: hipoclorito de sodio) y Factor C (Tiempo de cocción)**

A continuación, se observa en la tabla 23, 24, 25 las medias de los factores A, B y C.

**Tabla 23:** Valores de las medias del Factor A de cada uno de los análisis físicos y químicos

<b>Factor A Materia prima</b>	<b>pH</b>	<b>Gramaje</b>	<b>Espesor</b>	<b>Humedad</b>	<b>Cobb</b>	<b>Cenizas</b>	<b>Absorción de agua en papeles porosos</b>
Pseudotallo	7,5562	745,0	3,0312	10,1763	277,25	4,962	2,726
Raquis	7,82	1048,75	2,5312	13,4613	39,21	6,948	63,782

Elaborado por: Zamora, J. (2017)

**Tabla 24:** Valores de las medias del Factor B de cada uno de los análisis físico químicos

<b>Factor B Porcentaje de ablandado r</b>	<b>pH</b>	<b>Gramaje</b>	<b>Espesor</b>	<b>Humedad</b>	<b>Cobb</b>	<b>Cenizas</b>	<b>Absorción de agua en papeles porosos</b>
15%	7,6712	895,0	2,875	11,3425	150,562	5,356	50,332
20%	7,705	898,75	2,687	12,295	165,9	6,554	16,172

Elaborado por: Zamora, J. (2017)

**Tabla 25:** Valores de las medias del Factor C de cada uno de los análisis físico químicos

<b>Factor C Tiempo de cocción</b>	<b>pH</b>	<b>Gramaje</b>	<b>Espesor</b>	<b>Humedad</b>	<b>Cobb</b>	<b>Cenizas</b>	<b>Absorción de agua en papeles porosos</b>
60 min	7,6312	901,25	2,625	11,1588	143,275	5,684	18,47
90 min	7,745	892,5	2,937	12,4788	173,188	6,226	48,038

Elaborado por: Zamora, J. (2017)

**Anexo 6: Recepción y acondicionamiento de los subproductos (pseudotallo y raquis) utilizados como materia prima en la obtención de cartón**



Residuos de Pseudotallo en plantaciones agrícolas



Raquis acumulado después de la recolección del banano



Lavado de la materia prima (pseudotallo)



Extracción de la corteza del raquis

**Anexo 7: Pesado y troceado de los subproductos (pseudotallo y raquis) utilizados como materia prima en la obtención de cartón**



Pesado de la materia prima



Troceado de la materia prima



Vertido de la materia prima en el agua de cocción

**Anexo 8: Cocción y aplicación del ablandador (hipoclorito de sodio) de fibra de los subproductos (pseudotallo y raquis)**



Cocción de la materia prima



Inspección de la temperatura de cocción



Aplicación del ablandador (hipoclorito de sodio)



Inspección de la materia prima en la etapa de ablandamiento



Materia prima en su fase de ablandamiento

### Anexo 9: Análisis de pH en el licor de cocción y lavado de la fibra



Análisis de pH inicial



Vaciado del licor de cocción



Fibra sometida a chorro de agua fría



Lavado de fibra



Lavado de fibra

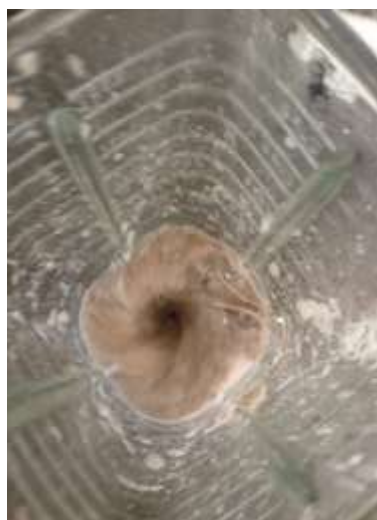


Análisis de pH final

### Anexo 10: Licuado de la fibra y obtención de pasta celulósica.



Extracción de celulosa



Licuado de la fibra



Obtención de pasta celulósica



Pasta celulósica

**Anexo 11: Moldeo y prensado de la pasta celulósica para la obtención de cartón.**



Pasta celulósica en molde



Prensado



Lámina de cartón

## Anexo 12: Análisis físicos del producto final: cartón



Muestra para los análisis



Toma de muestras



Análisis de gramaje



Determinación de espesor



Tratamientos a evaluar



Determinación de humedad



Análisis Cobb



Adición de agua destilada



Espera de análisis Cobb



Tratamientos analizados



Pesado de muestras



Muestras en la mufla



Cenizas



Determinación de absorción de agua



Caída de la gota de agua destilada



Determinación de tiempo de absorción de agua por el método empleado en papeles porosos



Gota de agua en toma de tiempo de absorción

## Anexo 13: Certificación del laboratorio de suelos



Universidad Técnica Estatal de Quevedo  
La primera Universidad Agropecuaria del País



### CERTIFICACIÓN

Quevedo, 04 de octubre del 2017

#### A QUIEN CORRESPONDA:

Por medio de la presente certifico que la Srta. ZAMORA BUSTILLOS JESSANDRA GABRIELA con CI.: 050341913-7 realizó en este Laboratorio los análisis de cenizas, correspondiente al Proyecto de Investigación "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL CARTÓN OBTENIDO A PARTIR DEL PSEUDOTALLO Y RAQUIS DE LA *Musa acuminata cavendish* (BANANO)".

Autorizo al interesado hacer uso del presente certificado como a bien tuviere.

Atentamente,

Ing. José Vargas Sánchez



Coordinador del laboratorio de suelos y aguas

## Anexo 14: Certificación de la empresa grupo CARTOPEL



Guayaquil 06 de septiembre 2017

### CERTIFICADO

A quien interese, certifico que La Srta. Gabriel Zamora Bustillos con cédula 0503419137, realizo las siguientes pruebas de laboratorio de para el proyecto de investigación "EVALUACION DE LA CALIDAD DEL CARTON A PARTIR DEL PSEUDOTALLO Y RAQUIS DEL BANANO (musa acuminata cavendish)":

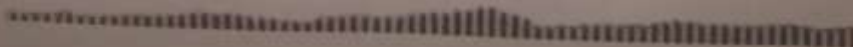
- Gramaje
- Humedad
- Espesor
- Determinación de la absorción de agua (COBB)

a las muestras elaboradas con Pseudotallo y Raquis de banano, las mismas que fueran elaboradas en los laboratorios de Agro Industria de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

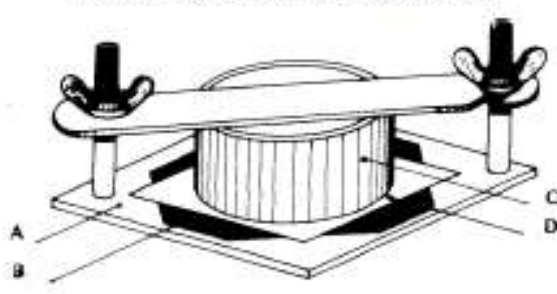
firma

Sr. Daniel Villa  
Supervisor de Calidad  
Corrugadora Guayaquil  
Cel. 0987404981

Grupo CARTOPEL  
Km. 6 ½ Vía a Daule – Sector Prosperina



**Anexo 15: Norma INEN 1400. Papeles y cartones. Determinación de la absorción del agua en papeles y cartones (no porosos) encolados (ensayo de Cobb)**

Norma Técnica Ecuatoriana Obligatoria	PAPELES Y CARTONES. DETERMINACIÓN DE LA ABSORCIÓN DEL AGUA EN PAPELES Y CARTONES (NO POROSOS) ENCOLADOS (ENSAYO DE COBB)	INEN 1 400 1986-07
<p style="text-align: center;"><b>1. OBJETO</b></p> <p>1.1 Esta norma establece un método para determinar la cantidad de agua absorbida, en un tiempo determinado, por un papel o cartón no poroso, de un espesor mínimo de 0,1 mm (0,004 pg).</p> <p style="text-align: center;"><b>2. ALCANCE</b></p> <p>2.1 Este método es generalmente aplicable a papeles y cartones encolados, pero es recomendable como un ensayo de encolado para papeles de escritura.</p> <p style="text-align: center;"><b>3. RESUMEN</b></p> <p>3.1 Un espécimen de papel o cartón previamente acondicionado es puesto en contacto con el agua por un tiempo determinado, al término del cual se lo vuelve a pesar para determinar la cantidad de agua absorbida por el espécimen.</p> <p style="text-align: center;"><b>4. INSTRUMENTAL</b></p> <p>4.1 <b>Aparato de absorción de agua.</b> Permite que un lado del espécimen sea humedecido uniformemente al momento de iniciar el período de empapamiento, y controla rápidamente la separación del agua del espécimen en el punto final del ensayo. El ajustador del espécimen (ver Fig. 1) comprime un anillo de metal con la cara inferior del aparato pulido a máquina. Este anillo tiene <math>11,28 \pm 0,02</math> cm de diámetro interno (corresponde a la sección transversal de una área de 100 cm<sup>2</sup>), 2,5 cm de alto, 0,6 cm de espesor, sujetado a una base plana de 15 x 15 cm, con una barra de metal transversal de 17 x 2,5 x 0,6 cm y dos tuercas de mariposas en un par de pernos. La barra transversal tiene un hueco en un extremo y una muesca en el otro, con el objeto de facilitar el ensamble durante el uso. Sobre la plancha de la base, va una base de caucho más grande que el diámetro externo del anillo a la que va sujetado el espécimen (ver nota 1).</p> <p style="text-align: center;"><b>Figura 1. Aparato de absorción de agua.</b></p>  <p style="text-align: center;"> <b>A - plancha base</b>                      <b>C- anillo de metal</b>  <b>B - base de caucho</b>                <b>D- base plana</b> </p> <p>Nota 1. Las partes metálicas podrían ser preferiblemente de bronce o de cualquier otro material anticorrosivo.</p> <p style="text-align: right;">(Continúa)</p>		

**4.2 Rodillo metálico.** De bronce sólido y superficie lisa, de 20 cm de ancho y un peso de  $10,0 \pm 0,5$  kg.

**4.3 Medidor de tiempo.** Con dispositivo para detener el reloj cronómetro, con lectura en segundos.

**4.4 Cilindro graduado,** de  $100 \text{ cm}^3$ .

**4.5 Balanza** con una precisión no menor a  $0,01$  g.

## 5. MATERIALES

**5.1 Papel secante,** en hoja de  $200 - 250 \text{ g/m}^2$ , con una ascensión capilar de  $50 - 100$  mm de agua (promedio de DM + DC).

**5.2 Agua,** destilada o desmineralizada (ver nota 2).

## 6. PREPARACION DE LA MUESTRA

**6.1** El muestreo de los especímenes debe realizarse de acuerdo a la Norma INEN 1 396, cortando de cada unidad especímenes de  $12,5 \times 12,5$  cm. Las piezas de ensayo deben estar libres de arrugas y manchas de grasa que no sean características inherentes del papel. Para papeles de encolado duro (absorción menor que  $100$  g de agua por metro cuadrado), usar  $10$  especímenes por unidad de ensayo. Para papeles de encolado suave (absorción mayor que  $100 \text{ g/m}^2$ ), usar  $20$  especímenes.

## 7. PROCEDIMIENTO

**7.1** Acondicionar los especímenes de acuerdo a la Norma INEN 1 396.

**7.2** Pesar cada espécimen con aproximación al  $0,01$  g.

**7.3** Ensayar la mitad de los especímenes con el lado liso del papel hacia arriba, y la otra mitad con el lado áspero del papel hacia arriba.

**7.4** Colocar la base de caucho seca sobre la plancha metálica y poner sobre ella un espécimen previamente pesado. Después de limpiar el anillo metálico, colocarlo sobre el espécimen y ajustar rápida y suficientemente con la barra transversal, para prevenir pérdidas o filtraciones entre el anillo y el espécimen (ver nota 3).

---

Nota 2. Es importante observar la temperatura del agua, la misma que debe mantenerse a  $23 \pm 1^\circ\text{C}$ . Reno var el agua para cada determinación.

Nota 3. En materiales en donde las pérdidas o filtraciones entre el anillo y el espécimen pueden ocurrir durante el ensayo, puede utilizarse un empaque de plástico suave y no absorbente. El empaque debe tener las mismas dimensiones interiores que el anillo.

(Continua)

7.5 Verter  $100 \text{ cm}^3$  de agua destilada dentro del anillo en forma tan rápida como sea posible, hasta alcanzar una altura de  $1 \pm 0,1 \text{ cm}$ . Iniciar el cronometraje inmediatamente. A los  $15 \pm 5 \text{ s}$ , antes que termine el período predeterminado (usualmente  $120 \text{ s}$ ), sacar rápidamente el agua del anillo con cuidado de no gotear agua en las partes extremas del espécimen.

7.6 Aflojar las tuercas de mariposa, girar la barra transversal y sostener el anillo presionándolo con una mano. Separar el anillo rápida y cuidadosamente, colocar el espécimen con su cara húmeda sobre una hoja de papel secante, aplicándolo sobre una superficie plana y rígida.

7.7 Exactamente al finalizar el predeterminado período de ensayo, colocar una segunda hoja de papel secante sobre el espécimen y extraer el agua remanente, moviendo el rodillo de mano de un lado al otro sobre la almohadilla de papeles, sin ejercer ninguna presión adicional sobre el rodillo.

7.8 Los especímenes que contengan un excesivo remanente de agua después del secamiento podrían rechazarse y repetir el ensayo, decantando el agua del anillo más pronto.

7.9 Doblar el espécimen con la cara húmeda hacia dentro e inmediatamente volver a pesarlo, con aproximación al  $0,01 \text{ g}$ .

## 8. CALCULOS

8.1 Sustraer la masa inicial del espécimen de la masa final, multiplicar por 100 la masa ganada y expresarlo en gramos por metro cuadrado.

## 9. INFORME DE RESULTADOS

9.1 En el informe, calcular la absorción, como la masa promedio de agua absorbida en gramos por metro cuadrado, de cada lado del papel, separadamente. Si fuera necesario, determinar los valores máximos y mínimos de cada lado (ver nota 4).

9.2 Este ensayo no ha sido examinado estadísticamente; no obstante, puede esperarse que la reproducibilidad se encuentre dentro del 10%.

---

Nota 4. A no ser que en reporte se indique de otra manera, se asume que en un período de exposición se han empleado  $120 \text{ s}$ , para una hoja simple. Esta condición es más apropiada para papeles bien encolados.

(Continúa)

**APENDICE Z****Z.1 NORMAS A CONSULTAR**

INEN 1 395. *Papeles y cartones. Método de muestreo de papeles y cartones para ensayo.*  
INEN 1 396. *Papeles y cartones. Acondicionamiento de muestras.*

**Z.2 BASES DE ESTUDIO**

Norma TAPPI T 441 05-69. *Water absorptiveness of sized (nonblibulous) paper and paperboard (Cobb test).* Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). Atlanta, EEUU, 1976.

Norma ASTM D 2045-64T. *Tentive method of test for water absorptiveness of nonblibulous paper and paperboard (Cobb test).* American Society for Testing and Materials, Filadelfia, EEUU, 1992.

## INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

<b>Documento:</b> NTE INEN 1 400	<b>TÍTULO: PAPELES Y CARTONES. DETERMINACIÓN DE LA ABSORCIÓN DEL AGUA EN PAPELES Y CARTONES (NO POROSOS) ENCOLADOS (ENSAYO DE COBB)</b>	<b>Código:</b> QU 07.01-304
-------------------------------------	---	--------------------------------

<b>ORIGINAL:</b> Fecha de iniciación del estudio:	<b>REVISIÓN:</b> Fecha de aprobación anterior por Consejo Directivo: Oficialización con el Carácter de por Acuerdo No.                      de publicado en el Registro Oficial No.                      de  Fecha de iniciación del estudio:
--	---

Fechas de consulta pública: de 1980-11-04 a 1981-01-15

La Dirección General, considerando la necesidad de contar con normas que regulen la producción y el uso de los PAPELES Y CARTONES, dispuso la formulación de esta norma.

Subcomité Técnico: QU 07.01 PAPELES Y CARTONES

Fecha de iniciación:

Fecha de aprobación: 1983-07-05

Integrantes del Subcomité Técnico:

**NOMBRES:**

Ing. Ramón Astadillo  
 Ing. Ramón Álvarez  
 Ing. Emilio Calle  
 Ing. Julio Vizcete  
 Ing. Richard Allen  
 Ing. Gabriel Vera  
 Ing. Jorge López  
 Ing. Rainerio Ferrario  
 Ing. Oswaldo Acuña  
 Lic. Rafael Iriondo  
 Ing. César Jara

**INSTITUCIÓN REPRESENTADA:**

INDUSTRIA CARTONERA ECUATORIANA  
 PAPELERA NACIONAL  
 PAPELERA NACIONAL  
 PRODUCTORA CARTONERA S.A.  
 PRODUCTORA CARTONERA S.A.  
 FABRICA DE PAPEL "LA REFORMA"  
 INCASA  
 CENTRO GRAFICO  
 ESCUELA POLITECNICA NACIONAL  
 UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR  
 INEN

Otros trámites: \* Esta norma sin ningún cambio en su contenido fue **DESREGULARIZADA**, pasando de **OBLIGATORIA** a **VOLUNTARIA**, según Resolución de Consejo Directivo de 1998-01-08 y oficializada mediante Acuerdo Ministerial No. 235 de 1998-05-04 publicado en el Registro Oficial No. 321 del 1998-05-20. El Consejo Directivo del INEN aprobó este proyecto de norma en sesión de 1986-07-29.

Oficializada como: Obligatoria  
 Registro Oficial No. 530 de 1986-09-25

Por Acuerdo Ministerial No. 453 de 1986-08-19.

# Anexo 16: Norma TAPPI 211. Determinación de Ceniza en madera, pulpa, papel y cartón: combustión a 525 °C.

## T 211 om-02

TENTATIVE STANDARD – 1933  
OFFICIAL STANDARD – 1934  
OFFICIAL TEST METHOD – 1980  
REVISED – 1985  
REVISED – 1993  
REVISED – 2002  
©2002 TAPPI

The information and data contained in this document were prepared by a technical committee of the Association. The committee and the Association assume no liability or responsibility in connection with the use of such information or data, including but not limited to any liability under patent, copyright, or trade secret laws. The user is responsible for determining that this document is the most recent edition published.

### CAUTION:

This Test Method may include safety precautions which are believed to be appropriate at the time of publication of the method. The intent of these is to alert the user of the method to safety issues related to such use. The user is responsible for determining that the safety precautions are complete and are appropriate to their use of the method, and for ensuring that suitable safety practices have not changed since publication of the method. This method may require the use, disposal, or both, of chemicals which may present serious health hazards to humans. Procedures for the handling of such substances are set forth on Material Safety Data Sheets which must be developed by all manufacturers and importers of potentially hazardous chemicals and maintained by all distributors of potentially hazardous chemicals. Prior to the use of this method, the user must determine whether any of the chemicals to be used or disposed of are potentially hazardous and, if so, must follow strictly the procedures specified by both the manufacturer, as well as local, state, and federal authorities for safe use and disposal of these chemicals.

## Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525°C

### 1. Scope

This method for determination of ash can be applied to all types and grades of wood pulp paper, and paper products. For the determination of ash by combustion at 900°C, see TAPPI T 413 "Ash in Wood, Pulp, Paper and Paperboard: Combustion at 900°C."

### 2. Summary

A test specimen is ignited in a muffle furnace at 525°C. A separate test specimen is analyzed for the percentage moisture. The resulting weight of ash and moisture level in the sample are used to calculate the percentage ash present at 525°C on a moisture-free sample basis.

### 3. Significance

3.1 The ash content of the sample may consist of: (1) various residues from chemicals used in its manufacture, (2) metallic matter from piping and machinery, (3) mineral matter in the pulp from which the paper was made, and (4) filling, coating, pigmentation and/or other added materials. The amount and composition of the ash is a function of the presence or absence of any of these materials or others singly or in combination. No specific *qualitative* meaning is attached to the term "ash" as used in this test method. Where a further qualitative examination of the ash is desired, this method may be used in combination with TAPPI T 421 "Qualitative (Including Optical Microscopic) Analysis of Mineral Filler and Mineral Coating of Paper," and major components of the ash identified.

3.2 The combustion of cellulose to form volatile combustion products occurs at about 300°C. For papers or pulp containing no added fillers or coatings, ignition at **either** 525°C or 900°C will yield essentially identical results of a few tenths percent ash or less. Examples of such papers include "ashless" filter papers manufactured for chemical analysis, or dissolving grade pulps.

3.3 For samples containing fillers, coatings or pigments *which undergo negligible change in weight upon ignition of either 525 °C or 900 °C*, such as the oxides of silicon or titanium, and where other fillers, coatings or pigments

Approved by the Standard Specific Interest Group for this Test Method  
TAPPI

are known to be absent, ignition at either temperature may be taken as a semi-quantitative measure of the percentage of such material present in the sample.

3.4 In most cases, the ash content of paper and paperboard will contain inorganic residues from the pulp, inorganic residues from paper making chemicals, and loading or filling materials deliberately added. In such cases, the significance of the ash level determined will vary depending upon which ashing temperature is used and the identity of the materials added.

3.5 For papers containing only cellulose and calcium carbonate, ignition at 525°C will remove cellulose, and moisture, but will leave as ash the calcium carbonate essentially intact. Ignition at 900°C will convert the calcium carbonate to calcium oxide. In such cases, these methods may be used in conjunction to provide a good estimate of added calcium carbonate levels.

3.6 For papers containing cellulose and clays or materials of indefinite composition and/or variable thermal decomposition, significance of ash level may require significant confirmation regarding the materials added, qualitative analysis of the ash as described in T 421, or both, and even then care in determining data significance will be required.

3.7 The user of this test method must confirm that 525°C is the correct ashing method to use and the significance of results based on an understanding of the composition of the sample ash and the information desired. This method may be used in conjunction with TAPPI T 413 "Ash in Wood, Pulp, Paper and Paperboard: Combustion at 900°C" for a more comprehensive understanding of the non-cellulosic materials present in the sample.

#### 4. Definitions

4.1 *Ash*, the material remaining, calculated on the basis of the dry weight of the original sample, after the sample is ignited at a specified temperature.

4.1.1 *Ash at 525°C*, the ash content of the sample when the ignition temperature is 525°C.

#### 5. Apparatus<sup>1</sup>

5.1 *Crucibles*, platinum, porcelain or silica, 50 to 100 mL, with covers.

5.2 *Electric muffle furnace*, suitable for maintaining a temperature of 525 ± 25°C. Control of temperature and its accuracy are critical for this method.

#### 6. Sampling

6.1 Obtain a sample of wood in accordance with TAPPI T 257 "Sampling and Preparing Wood for Analysis" and TAPPI T 264 "Preparation of Wood for Chemical Analysis" or a sample of pulp in accordance with TAPPI T 210 "Weighing, Sampling, and Testing Pulp for Moisture." Do not take cut edges or other parts of pulp where mineral contamination may have occurred.

6.2 Obtain a sample of paper or paperboard in accordance with TAPPI T 400 "Sampling and Accepting a Single Lot of Paper, Paperboard, Containerboard, or Related Product."

#### 7. Test Specimens

7.1 Condition the sample in the atmosphere near the balance to the moisture equilibrium.

7.2 The test specimen shall consist of small pieces of the sample so selected as to be representative. The specimen weight shall be at least 1 g moisture-free and may be increased to sufficient size to yield an ash weight of not less than 10 mg and preferably over 20 mg.

7.3 Prepare sufficient test specimens so that the Procedure, Section 9.1 may be performed at least twice for each test unit.

7.4 The test specimen shall be weighed on an analytical balance to the nearest 0.1 mg.

---

<sup>1</sup>Names of suppliers of testing equipment and materials for this method may be found on the Test Equipment Suppliers list in the bound set of TAPPI Test Methods, or may be available from the TAPPI Quality and Standards Department.

## 8. Determination of Moisture

8.1 At the same time as the test specimen is being weighed (Section 7), weigh the sample for determination of moisture content in accordance with T 264 "Preparation of Mechanical Pulps for Testing" (wood), T 210 (pulp) or T 550 "Determination of Equilibrium Moisture in Paper and Paperboard for Chemical Analysis" (paper and paperboard).

## 9. Procedure

9.1 *Moisture determination.* Continue and complete moisture determination as described in the relevant procedure (see 8.1).

### 9.2 Ash determination

9.2.1 Carefully clean the empty crucible and ignite in a muffle furnace at  $525 \pm 25^\circ\text{C}$  for 30-60 minutes. After ignition, cool slightly and then place in a desiccator, containing indicating-grade anhydrous alumina. When cooled to room temperature, weigh the ignited crucible on the analytical balance to the nearest 0.1 mg.

9.2.2 Transfer the test specimen to the crucible - and, with the lid ajar, gently carbonize the specimen in the crucible on the hearth of the furnace or directly over a low flame of a bunsen burner. Alternately, place the crucible, with lid removed, in a furnace at about  $100^\circ\text{C}$ . Raise the temperature to  $525^\circ\text{C}$  slowly so that the sample becomes carbonized without flaming. Sample must be charred, not burned so that the temperature of the sample does not exceed  $525^\circ\text{C}$ . If the crucible is too small to hold the entire specimen, gently char the portion added and add more as the sample chars, but in either case protect the contents of the crucible with a lid or cover so that a portion of the ash will not be blown from the crucible and/or the sample will not burn. When the residue has ceased to char, place the crucible with specimen into the furnace at  $525 \pm 25^\circ\text{C}$  and remove the lid after the crucible seems to have reached the temperature of the furnace.

9.2.3 When the specimen is completely combusted as indicated by the absence of black particles, remove the crucible from the furnace, replace the cover, and allow to cool somewhat; then place in a desiccator containing indicating grade anhydrous alumina and cool to room temperature. Weigh the crucible with ash to the nearest 0.1 mg. Repeat the ignition and weighing until the weight of the ash is constant to  $\pm 0.2$  mg.

## 10. Calculation

Calculate the ash content as follows:

$$\text{Ash, \%} = \frac{A \times 100}{B}$$

where

$A$  = weight of ash, g

$B$  = weight of test specimen, g moisture-free

## 11. Report

Report the ash content in the sample as an average of two determinations to the nearest 0.01% when the ash content is below 10%, or to the nearest 0.1% if the ash content is 10% and higher.

## 12. Precision

12.1 The following estimates of repeatability and reproducibility are based on an interlaboratory trial conducted in 2002 involving 8 laboratories. This data is based on 6 materials including, two grades of wood chips, two grades of wood pulp, one grade of uncoated bond, and one grade of coated bond. The precision estimates are based on two determinations per test result and three test results per lab, per material. A more detailed chart of example results is included below:

**Wood Chips**

Repeatability (within a lab) = 0.18 (% ash)

Reproducibility (between laboratories) = 0.32 (% ash)

**Wood Pulp**

Repeatability (within a lab) = 0.06 (% ash)

Reproducibility (between laboratories) = 0.09 (% ash)

**Uncoated Writing Papers**

Repeatability (within a lab) = 0.44 (% ash)

Reproducibility (between laboratories) = 0.53 (% ash)

**Coated Writing Papers**

Repeatability (within a lab) = 1.49 (% ash)

Reproducibility (between laboratories) = 2.99 (% ash)

Repeatability and reproducibility are estimates of the maximum difference (at 95%) which should be expected when comparing test results for materials similar to those described above under similar test conditions. These estimates may not be valid for different materials or testing conditions.

**Data Table of Ash Content Results**

Material	Grand Mean	Std Dev Btwn Labs	Repeatability r and %r		Reproducibility R and % R		Labs Included
Hardwood Chips	0.465	0.125	0.22	48%	0.39	84%	7
Softwood Chips	0.366	0.079	0.15	40%	0.25	68%	7
Softwood Pulp #2	0.165	0.036	0.06	34%	0.11	66%	8
Softwood Pulp	0.168	0.019	0.07	44%	0.08	48%	8
Uncoated Bond	9.69	0.14	0.44	4.5%	0.53	5.4%	8
Coated Bond	31.83	0.98	1.49	4.7%	2.99	9.4%	8

**13. Keywords**

Ash, Wood, Pulp, Paper, Paperboard, Combustion products, Combustion

**14. Additional Information**

14.1 Effective date of issue: October 29, 2002.

14.2 This revision reduces the ashing temperature to 525°C from 575°C to make the method more broadly applicable to wood, pulp, paper and related products. The temperature of 575°C causes partial degradation of carbonates when present. This problem is eliminated by the lower combustion temperature of 525°C.

14.3 A procedure for combustion at 900°C is found in TAPPI T 413. Results by the two methods may differ, based on the loading materials present (see Section 3).

14.4 Methods for combustion at temperatures other than of T 211 (525°C) or T 413 (900°C) are published. These may give different results based on loading materials present.

14.5 No attempt is made to harmonize these procedures with ISO standards as combustion temperatures for paper and pulp ashing have been the topic of unresolved debate for several years within ISO.

14.6 The ashing temperatures in T 211 and T 413 are identical with those in ASTM D 586 "Standard Test Method for Ash in Paper. Method A: Ash Content Upon Ignition at 525°C and Method B: Ash Content Upon Ignition at 900°C."

14.7 Related Methods include ASTM D 1102; PAPTAC G.10, BS 4896, AS/NZS 1301.P3, SCAN C6, ISO 1762; BS 3631, PAPTAC G.11, ISO 2144, all of which may incorporate different ashing temperatures whose impacts may be understood by a careful reading of Section 3 (Significance).

*Your comments and suggestions on this procedure are earnestly requested and should be sent to the TAPPI Director of Quality and Standards.* ■

**Anexo 17: Norma INEN 1407. Papeles y cartones. Determinación de la absorción del agua en papeles porosos.**



<b>Norma Técnica Ecuatoriana Obligatoria</b>	<b>PAPELES Y CARTONES. DETERMINACIÓN DE LA ABSORCIÓN DEL AGUA EN PAPELES POROSOS</b>	<b>INEN 1 407</b>  1986-07
<p style="text-align: center;"><b>1. OBJETO</b></p> <p>1.1 Esta norma establece el método de ensayo para determinar el tiempo requerido por papeles no encolados para absorber completamente cierta cantidad de agua.</p> <p style="text-align: center;"><b>2. ALCANCE</b></p> <p>2.1 Este método no es válido para papeles encolados, o para aquellos que tienen un tiempo de absorción mayor de 120 s.</p> <p style="text-align: center;"><b>3. DISPOSICIONES GENERALES</b></p> <p>3.1 Para determinar el tiempo de absorción de agua en papeles encolados o que tengan un tiempo de absorción mayor de 120 s, se puede utilizar los métodos indicados en las Normas INEN 1 400 e INEN 1 406.</p> <p style="text-align: center;"><b>4. RESUMEN</b></p> <p>4.1 Medir el tiempo desde que una gota de agua entra en contacto con un espécimen de papel, hasta que el agua sea completamente absorbida por él.</p> <p style="text-align: center;"><b>5. INSTRUMENTAL</b></p> <p>5.1 <b>Bureta graduada</b>, de 25 cm<sup>3</sup> o menos. Ajustar la abertura en la punta para que una gota de 0,05 cm<sup>3</sup> sea descargada (5 cm<sup>3</sup> descargada de la bureta es 100 ± 4 gotas de agua liberada a 23°C).</p> <p>5.2 <b>Soporte del espécimen</b>. Una superficie horizontal cuadrada, de aproximadamente 10 x 10 cm, y que tenga en el centro un hueco de 4 cm de diámetro.</p> <p>5.3 <b>Cronómetro</b>.</p> <p style="text-align: center;"><b>6. PREPARACION DE LA MUESTRA</b></p> <p>6.1 El papel puede ser muestreado de acuerdo a la Norma INEN 1 395 y acondicionado de acuerdo a la Norma INEN 1 396.</p> <p style="text-align: right;"><i>(Continúa)</i></p>		

6.2 Seleccionar por lo menos 10 especímenes de cada unidad de ensayo, de aproximadamente de 10 x 10 cm.

## 7. PROCEDIMIENTO

7.1 Realizar el ensayo en una atmósfera acondicionada de acuerdo a la Norma INEN 1 396.

7.2 Colocar el espécimen sobre el centro del soporte, que debe mantenerse en posición horizontal.

7.3 Colocar la bureta, sostenida del porta-bureta, de modo que su extremo inferior esté separado 1 cm del centro del espécimen.

7.4 Llenar la bureta con agua destilada a  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ . 7.5 Dejar caer una gota de agua sobre el espécimen.

7.6 Medir el tiempo desde el instante en que entran en contacto la gota de agua y el papel hasta que ésta sea completamente absorbida, comprobando que el agua ya no refleja la luz al observar desde cierto ángulo.

7.7 Ensayar mínimo 10 especímenes y realizar igual número de ensayos en cada lado del papel.

## 8. INFORME DE RESULTADOS

8.1 El informe debe incluir lo siguiente:

- a) cantidad de agua utilizada por ensayo,
- b) número de especímenes utilizados por ensayo,
- c) tiempo de absorción mínima, máximo y promedio, en segundos, con aproximación al 0,1 s.

(Continúa)

**APENDICE Z****Z.1 NORMAS A CONSULTAR**

INEN 1 395	<i>Papeles y cartones. Métodos de muestreo de papel y cartón para ensayos.</i>
INEN 1 396	<i>Papeles y cartones. Acondicionamiento de muestras.</i>
INEN 1 400	<i>Papeles y cartones. Determinación de la absorción del agua en papeles y cartones (no porosos) encolados. (Ensayo de Cobb).</i>
INEN 1 406	<i>Papeles y cartones. Determinación de la resistencia al paso del agua. (Método por indicador seco).</i>

**Z.2 BASES DE ESTUDIO**

Norma ASTM D 824-67. *Determinación de la absorción del agua en papeles porosos.* American Society for Testing and Materials, Filadelfia, 1967.

Norma ICAITI 46004 h 15. *Ensayos físicos de papeles y cartones. Absorción del agua.* Instituto Centro Americano de Investigación y Tecnología Industrial, Guatemala, 1965.

Norma TAPPI T 492 pm-76. *Water absorption of paper board (non-bibulous).* Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI), Atlanta, EE.UU, 1976.

