



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INDUSTRIA Y PRODUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

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

Proyecto de Investigación

**“EVALUACIÓN DEL MATERIAL CELULÓSICO PROVENIENTE DE
RESIDUOS DERIVADOS DE LA AGROINDUSTRIA DEL MAÍZ (*Zea mays*),
PARA EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE CARTÓN.”**

Autor

Rendón Pozo Ariana Valeria

Director del Proyecto de Investigación

Ing. MSc. Azucena Bernal Gutiérrez

Quevedo - Los Ríos – Ecuador

2021



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Ariana Valeria Rendón Pozo**, declaro que el trabajo aquí descrito 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 trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

f. 

Ariana Valeria Rendón Pozo

C.C. # 1205357476



CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El suscrito, **Ing. MSc. Azucena Bernal Gutiérrez**, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que la estudiante, **Ariana Valeria Rendón Pozo**, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado **“EVALUACIÓN DEL MATERIAL CELULÓSICO PROVENIENTE DE RESIDUOS DERIVADOS DE LA AGROINDUSTRIA DEL MAÍZ (*Zea mays*), PARA EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE CARTÓN.”**, previo a la obtención del título de Ingeniera Agroindustrial, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

AZUCENA
ELIZABETH
BERNAL
GUTIERREZ

Digitally signed by
AZUCENA ELIZABETH
BERNAL GUTIERREZ
Date: 2021.10.26
23:15:02 -05'00'

Ing. MSc. Azucena Bernal Gutiérrez
DIRECTOR DEL 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 DEL MATERIAL CELULÓSICO PROVENIENTE DE RESIDUOS DERIVADOS DE LA AGROINDUSTRIA DEL MAÍZ (*Zea mays*), PARA EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE CARTÓN**” me permito manifestar a usted y por intermedio al Consejo Directivo de La Facultad Ciencias de la Industria y Producción lo siguiente:

Que, el estudiante egresado de la Facultad Ciencias de la Industria y Producción 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 del 8%.

Valido este documento para que la estudiante siga con los trámites pertinentes, de acuerdo con lo que establece el reglamento.

Por su atención deseo significar mis agradecimientos.

Cordialmente

Document Information

Analyzed document	Ariana Rendon URKUND 24-10.docx (D116237143)
Submitted	2021-10-25 03:09:00
Submitted by	
Submitter email	ariana.rendon2016@uteq.edu.ec
Similarity	8%
Analysis address	abernal.uteq@analysis.arkund.com

AZUCENA
ELIZABETH
BERNAL
GUTIERREZ

Digitally signed by
AZUCENA ELIZABETH
BERNAL GUTIERREZ
Date: 2021.10.26
23:15:02 -05'00'

Ing. MSc. Azucena Bernal Gutiérrez
DIRECTORA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



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

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

**“EVALUACIÓN DEL MATERIAL CELULÓSICO PROVENIENTE DE
RESIDUOS DERIVADOS DE LA AGROINDUSTRIA DEL MAÍZ (*Zea mays*),
PARA EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE CARTÓN”**

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

Aprobado por:

JOSE VICENTE
VILLARROEL
BASTIDAS

Firmado digitalmente
por JOSE VICENTE
VILLARROEL BASTIDAS
Fecha: 2021.11.27
07:33:52 -0500'

Ing. José Villarroel Bastidas
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ANDREA
CRISTINA
CORTEZ
ESPINOZA

Firmado digitalmente por ANDREA
CRISTINA CORTEZ ESPINOZA
DN: cn=ANDREA CRISTINA CORTEZ
ESPINOZA, o=UNIVERSIDAD TECNICA
ESTADAL DE QUEVEDO, ou=Facultad de
Ciencias Exactas, email=andrea2016@gmail.com
Módulo: Solicitud de este documento
Ubicación:
Fecha: 2021-11-27 12:59:05:00

Ing. Andrea Cortez
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Firmado electrónicamente por:
**ROBERT WILLIAM
MOREIRA MACIAS**

Ing. Robert Moreira
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

QUEVEDO – LOS RÍOS – ECUADOR

2021

AGRADECIMIENTO

Nada de esto sería posible si Dios no me hubiera dado, sabiduría, fortaleza, inteligencia, paciencia, liderazgo y ganas de salir adelante. Gracias Dios porque nunca me has dejado sola, tú estás conmigo hasta el final de mis días.

Quiero agradecer a mi familia porque siempre han creído en mí, porque me permitieron desarrollar mis capacidades y nunca señalaron limitaciones, siempre me han dicho que puedo con todo, gracias mamá por hacer que yo crea que tengo el poder de lograrlo todo, por enseñarme a ser independiente, por respetar mis decisiones y aceptar cada parte de mí, Jimmy por ser un segundo padre y cuidar de mí con valentía y amor, mi admiración y cariño lo acompañarán siempre, hermanos, Jimmy Alejandro, Kevin, Salomé ustedes han sido la luz al final del camino que he seguido incansablemente aún en los momentos difíciles cuando he querido desmayar, los amo con todo mi corazón, tío Félix gracias por su apoyo y cuidado, por ese amor que me ha tenido desde que era una bebé, papi debo agradecerle por escucharme en mis momentos de crisis, por aceptar lo que soy, por su amor y apoyo, por cada palabra que me ha impulsado a seguir.

Amigos son aquellos que están contigo en los buenos y malos momentos, gracias a aquellos que en esta travesía pasaron de ser compañeros para convertirse en amigos, gracias a aquellos que pasaron de ser amigos para convertirse en familia, gracias a aquellos que eran conocidos y que ahora se convirtieron en amigos, cada uno de ustedes representa algo importante, me han ayudado a levantar la mirada en los momentos de tristeza y me han enseñado que amar a los amigos es esencial para remar en los momentos turbulentos, Jackson, Ariel, Xiomara, Génesis, Francisco, Byron, Melissa, Roxana, Dayana, Yomira, Mariana, Gladys, Gabriel, Jonathan, Leandro, Cinthya, Deyaneira, Jhordan, Mily, espero que el camino de cada uno de ustedes esté lleno de éxito y felicidad, que la vida los premie de la mejor manera y que nada apague sus ganas de triunfar, gracias por todo lo compartido, que sus sueños se hagan realidad siempre.

Tito, Denisse, Nanda, Alex, Carlos, Grey, Kerly, Bryan, Juliana, gracias por tantos años de amistad estoy segura de que la vida les va a devolver toda la felicidad que cada uno de

ustedes provocó en mí y que ha llenado mi corazón, que la vida les de todo lo que merecen y que las bendiciones lleguen de manera infinita.

Kim, gracias por todos estos años de amistad, no existe nadie como tú, hemos compartido tantas cosas que mi corazón siente un profundo agradecimiento y cariño hacia ti, te deseo lo mejor siempre, te mereces el mundo entero, que el éxito, la felicidad, el amor abunden en tu vida, sé siempre esa chica tan auténtica y especial, te quiero hasta el infinito.

Amanda en poco tiempo te volviste una persona especial te deseo mucho amor espero que podamos compartir muchos momentos llenos de felicidad.

Hércules y Apolo han sido parte de esta travesía con su compañía han llenado mi corazón de tanto amor que el solo hecho de tenerlos me impulsó a querer no rendirme.

Finalmente, agradezco a todos los docentes que fueron parte de mi formación académica y que se convirtieron en uno de los pilares de mi crecimiento personal y académico.

Ariana Valeria Rendón Pozo

DEDICATORIA

La presente investigación está dedicada a mi mamá, papá, Jimmy, hermanos; Jimmy Alejandro, Kevin y Salomé, a mi tío Félix, amigos y familiares.

Dios dice en la biblia que el amor todo lo puede, gracias a todos mis seres queridos porque su amor me impulsó hasta la meta.

También quiero dedicarme este logro a mí misma porque sola he podido levantarme y continuar, ha sido un camino difícil, pero me llevo la satisfacción de que todo mi esfuerzo y dedicación serán recompensados.

A mis primas Dolly y Diana porque sé que vamos a celebrar juntas y con mucho cariño el logro de cada una, este es el inicio de unas de las tantas cosas que dejaremos como huella en el corazón de nuestra familia.

Abuelita, le dedico estas líneas con mucho amor, espero se sienta orgullosa de mí y que podamos compartir este logro que me llena de satisfacción y felicidad, que Dios me permita verla muchos años más, la llevo siempre en mi corazón.

A mis demás abuelos, ustedes partieron, pero esto es para ustedes, los llevo en mi corazón siempre y también en mi mente.

Ariana Valeria Rendón Pozo

RESUMEN

La necesidad de encontrar alternativas a la elaboración de papel y cartón con material leñoso ha sido una de las motivaciones para realizar este proyecto de investigación. En la actualidad nuestro planeta está sumergido en diferentes problemas medioambientales que causan el deterioro del aire, suelo y agua, por esta razón es importante identificar los factores que contribuyen a este problema.

Siendo el maíz uno de los cereales que demanda mayor producción (850 millones de toneladas) y consumo (1.132 toneladas) a nivel mundial y a su vez siendo uno de los cultivos que genera mayor cantidad de residuos agroindustriales se decidió utilizar tres tipos de desechos derivados del mismo, tallo, hojas y elote, para elaborar cartón a partir de dichas materias primas, dando así un uso alternativo a la creación de abono y quema de desechos en los campos. Para la obtención de pulpa celulósica se utilizaron dos métodos denominados método de James Wise y Kurshner y Hoffner que permitieron obtener un producto final con características físico mecánicas aceptables que a la vez puede competir con el cartón derivado de material leñoso.

En la presente investigación se analizaron las siguientes variables; pH, humedad, resistencia a la tensión, porosidad, cenizas, espesor, gramaje, para establecer cómo influye el uso de diferentes tipos de residuos (Factor A: a_0 =tallo, a_1 =elote, a_2 =hojas) en la elaboración de cartón y también se analizaron los métodos de obtención de pulpa celulósica (Factor B: b_0 =método de Jayme Wise; b_1 = método de Kurshner Hoffner) para así determinar cuál de estos es mejor. Así mismo se determinó el rendimiento para establecer cual materia prima proporciona una mayor cantidad de pulpa celulósica y mayor gramaje en el cartón. Para el análisis de varianza se utilizó Statgraphics, para las pruebas de significación se utilizó Infostat y finalmente para realizar los gráficos de cajas se utilizó Statistica.

Los resultados arrojados permitieron analizar las características físicas químicas y mecánicas del producto final para establecer si el uso de los residuos del maíz es una alternativa ideal para la fabricación de cartón, dando resultados favorables para la mayor parte de las variables que se decidieron analizar. Finalmente se concluye que la obtención de pulpa por el método de Kurshner y Hoffner, el Elote es el residuo que proporciona una mayor cantidad de gramaje en las hojas de cartón 82g/m² siendo este el mejor tratamiento (a₂b₁).

Palabras clave: Desechos, Fibra, Cartón, Pulpa celulósica

ABSTRACT

The need to find alternatives to the production of paper and cardboard with woody material has been one of the motivations for carrying out this research project. Our planet is currently immersed in different environmental problems that cause the deterioration of air, soil and water, for this reason it is important to identify the factors that contribute to this problem.

As maize is one of the cereals with the highest production (850 million tonnes) and consumption (1,132 tonnes) worldwide, and as it is one of the crops that generates the greatest amount of agro-industrial waste, it was decided to use three types of waste derived from it, stalk, leaves and corn, to make cardboard from these raw materials, thus providing an alternative use to the creation of fertiliser and the burning of waste in the fields. To obtain cellulose pulp, two methods were used, the James Wise and Kurshner and Hoffner methods, which made it possible to obtain a final product with acceptable physical and mechanical characteristics that can compete with cardboard derived from woody material.

In this research, the following variables were analysed: pH, humidity, tensile strength, porosity, ash, thickness, grammage, to establish how the use of different types of waste (Factor A: a₀=stalk, a₁=corn cob, a₂=leaves) influences the production of paperboard and the methods of obtaining cellulose pulp (Factor B: b₀=James Wise method; b₁=Kurshner Hoffner method) were also analysed to determine which of these is better. The yield was also determined to establish which raw material provides a higher amount of cellulose pulp and a higher grammage in the paperboard. Statgraphics was used for the analysis of variance, Infostat was used for the significance tests and Statistica was used for the box plots.

The results obtained made it possible to analyse the physical, chemical, and mechanical characteristics of the final product to establish whether the use of corn residues is an ideal alternative for the manufacture of cardboard, giving favourable results for most of the variables that were analysed.

Finally, it is concluded that in obtaining pulp by the Kurshner and Hoffner method, Elote is the residue that provides the greatest amount of grammage in the 82g/m² sheets of cardboard, this being the best treatment (a₂b₁).

Keywords: Waste, Fiber, Cardboard, Cellulosic pulp

CÓDIGO DUBLÍN

Título:	“EVALUACIÓN DEL MATERIAL CELULÓSICO PROVENIENTE DE RESIDUOS DERIVADOS DE LA AGROINDUSTRIA DEL MAÍZ (<i>Zea mays</i>), PARA EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE CARTÓN.”			
Autor:	Rendón Pozo Ariana Valeria			
Palabras clave:	Desechos	Fibra	Cartón	Pulpa Celulósica
Editorial:	Quevedo: Universidad Técnica Estatal de Quevedo, 2021			
Resumen:	<p>La necesidad de encontrar alternativas a la elaboración de papel y cartón con material leñoso ha sido una de las motivaciones para realizar este proyecto de investigación. En la actualidad nuestro planeta está sumergido en diferentes problemas medioambientales que causan el deterioro del aire, suelo y agua, por esta razón es importante identificar los factores que contribuyen a este problema. Siendo el maíz uno de los cereales que demanda mayor producción (850 millones de toneladas) y consumo (1.132 toneladas) a nivel mundial y a su vez siendo uno de los cultivos que genera mayor cantidad de residuos agroindustriales se decidió utilizar tres tipos de desechos derivados del mismo, tallo, hojas y elote, para elaborar cartón a partir de dichas materias primas, dando así un uso alternativo a la creación de abono y quema de desechos en los campos. Para la obtención de pulpa celulósica se utilizaron dos métodos denominados método de James Wise y Kurshner y Hoffner que permitieron obtener un producto final con características físico mecánicas aceptables que a la vez puede competir con el cartón derivado de material leñoso. En la presente investigación se analizaron las siguientes variables; pH, humedad, resistencia a la tensión, porosidad, cenizas, espesor, gramaje, para establecer cómo influye el uso de diferentes tipos de residuos (Factor A: a_0=tallo, a_1=elote, a_2=hojas) en la elaboración de cartón y también se analizaron los métodos de obtención de pulpa celulósica (Factor B: b_0=método de Jayme Wise; b_1= método de Kurshner Hoffner) para así determinar cuál de estos es mejor. Así mismo se determinó el rendimiento para establecer cual materia prima proporciona una mayor cantidad de pulpa celulósica y mayor gramaje en el cartón. Para el análisis de varianza se utilizó Statgraphics, para las pruebas de significación se utilizó Infostat y finalmente para realizar los gráficos de cajas se utilizó Statistica. Los resultados arrojados permitieron analizar las características físicas químicas y mecánicas del producto final para establecer si el uso de los residuos del maíz es una alternativa ideal para la fabricación de cartón, dando resultados favorables para la mayor parte de las variables que se decidieron analizar. Finalmente se concluye que la obtención de pulpa por el método de Kurshner y Hoffner, el Elote es el residuo que proporciona una mayor cantidad de gramaje en las hojas de cartón 82g/m² siendo este el mejor tratamiento (a_2b_1).</p>			
Abstract:	<p>The need to find alternatives to the production of paper and cardboard with woody material has been one of the motivations for carrying out this research project. Our planet is currently immersed in different environmental problems that cause the deterioration of air, soil and water, for this reason it is important to identify the factors that contribute to this problem. As maize is one of the cereals with the highest production (850 million tonnes) and consumption (1,132 tonnes) worldwide, and as it is one of the crops that generates the greatest amount of agro-industrial waste, it was decided to use three types of waste derived from it, stalk, leaves and corn, to make cardboard from these raw materials, thus providing an alternative use to the creation of fertiliser and the burning of waste in the fields. To obtain cellulose pulp, two methods were used, the James Wise and Kurshner and Hoffner methods, which made it possible to obtain a final product with acceptable physical and mechanical characteristics that can compete with cardboard derived from woody material. In this research, the following variables were analysed: pH, humidity, tensile strength, porosity, ash, thickness, grammage, to establish how the use of different types of waste (Factor A: a_0=stalk, a_1=corn cob, a_2=leaves) influences the production of paperboard and the methods of obtaining cellulose pulp (Factor B: b_0=Jayme Wise method; b_1=Kurshner Hoffner method) were also analysed to determine which of these is better. The yield was also determined to establish which raw material provides a higher amount of cellulose pulp and a higher grammage in the paperboard. Statgraphics was used for the analysis of variance, Infostat was used for the significance tests and Statistica was used for the box plots. The results obtained made it possible to analyse the physical, chemical and mechanical characteristics of the final product to establish whether the use of corn residues is an ideal alternative for the manufacture of cardboard, giving favourable results for most of the variables that were analysed. Finally, it is concluded that in obtaining pulp by the Kurshner and Hoffner method, Elote is the residue that provides the greatest amount of grammage in the 82g/m² sheets of cardboard, this being the best treatment (a_2b_1).</p>			
Descripción:	172 hojas: dimensiones, 29x21cm + CD 6162			
URI:	<u>(en blanco hasta cuando se dispongan los repositorios)</u>			

INDICE

Contenido

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	ii
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	iii
CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO	iv
CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
SUSTENTACIÓN	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	xi
CÓDIGO DUBLÍN	xiii
INDICE	xiv
Índice De Tablas	xviii
Índice De Anexos	xx
Índice de Ecuaciones	xxiv
Índice de Gráficos	xxv
INTRODUCCIÓN	1
I.CAPITULO	3
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.1.Problema de investigación	4
1.1.1.Planteamiento del problema	4
1.1.2.Formulación del problema	7
1.1.3.Sistematización del problema	7
1.2.Objetivos	8
1.2.1.Objetivo General	8

1.2.2.Objetivos Específicos _____	8
1.3.Justificación _____	9
1.4.Hipótesis _____	10
1.4.1.Hipótesis Alternativa _____	10
1.4.2.Hipótesis Nula _____	10
II.CAPITULO _____	11
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN _____	11
2.1.Marco conceptual _____	12
2.1.1.Origen y sinonimia del maíz _____	12
2.1.2.Clasificación taxonómica _____	12
2.1.3.Composición química del maíz y sus partes _____	13
2.1.4.Características botánicas del maíz _____	15
2.1.5.Desechos sólidos agroindustriales _____	16
2.1.6.Celulosa _____	16
2.1.7.Lignina _____	16
2.1.8.Holocelulosa _____	17
2.1.9.Cartón _____	17
2.1.10.Uso del cartón _____	18
2.1.11.Hidróxido de Sodio _____	18
2.1.12.Sulfito de sodio _____	19
2.1.13.Efectos que causa en el medio ambiente la acumulación de residuos y la industria papelera _____	19
2.1.14.Aislamiento de la celulosa _____	21
2.2.Marco referencial _____	22
2.2.1.Uso de Materiales Celulósicos derivados de subproductos del maíz para la elaboración de cartón ____	22
2.2.2.Uso de fibras no maderables en el papel y cartón _____	24
2.2.3.Método de Jayme Wise _____	25
2.2.4.Método de Kurshner y Hoffner _____	25
2.2.5.Tiempo de secado de la hoja de papel o cartón _____	26
2.2.6.Secado de la hoja de maíz para producir pulpa celulósica para elaborar papel o cartón _____	26
2.2.7.Elaboración de papel artesanal y cartón con fibras no leñosas _____	27
2.2.8.Elaboración de papel artesanal a base de los residuos vegetales de los tallos de maíz (<i>Zea mays L</i>) y cáscara de plátano (<i>Musa paradisiaca L</i>) utilizando los métodos químicos de Jayme-Wise, Kurshner y Hoffner _____	28
2.2.9.Diseño de un proceso para la obtención de papel a partir de la celulosa extraída del olote de maíz (zea mays l. var. ceratina). _____	29

2.2.10. Estudio de especies no leñosas de la provincia de Loja (Ecuador) como potenciales materias primas para la fabricación de papel artesanal _____	30
2.2.11. Simulación de procesos _____	31
2.2.12. pH del papel _____	32
2.2.13. Normas vigentes para la elaboración de cartón _____	32
III. CAPITULO _____	35
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN _____	35
3.1. Localización _____	36
3.2. Tipo de investigación _____	36
3.3. Métodos de investigación _____	37
3.4. Fuente de recopilación de información _____	38
3.5. Diseño de la investigación _____	38
3.5.1. Factores de estudio _____	39
3.5.2. Tratamientos de la investigación _____	39
3.5.3. Variables de Estudio _____	40
3.6. Instrumentos de Investigación _____	41
3.6.1. Manejo del Experimento _____	41
3.6.2. Análisis físicos químicos y mecánicos _____	44
3.7. Tratamiento de datos _____	46
3.8. Recursos materiales _____	47
3.8.1. Materiales y Equipos _____	47
IV. CAPITULO _____	50
RESULTADOS Y DISCUSION _____	50
4.1. Resultados _____	51
4.1.1. Resultados del análisis de varianza con respecto a la utilización de diferentes residuos de maíz (<i>Zea mays</i>) en el proceso de obtención de cartón, sobre las características físicas, químicas y mecánicas del cartón _____	51
4.1.2. Resultados de la prueba de significación con respecto a la incidencia de la utilización de diferentes residuos de maíz (<i>Zea mays</i>) en el proceso de obtención de cartón, sobre las características físicas, químicas y mecánicas del cartón _____	57
4.1.3. Resultados de la prueba de significación con respecto a la influencia de los métodos de obtención del material celulósico en las características físico-mecánicas del producto final proveniente de subproductos agroindustriales derivados del maíz (<i>Zea mays</i>). _____	70
4.1.4. Determinación del rendimiento que se obtiene en el proceso de obtención de cartón a partir de residuos del maíz, utilizando la fórmula de rendimientos para productos _____	84

4.1.5.Resultados de la simulación en el software Flexsim	89
4.2.Tratamiento de la hipótesis	90
V.CAPITULO	91
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	91
5.1.Conclusiones	92
5.2.Recomendaciones	94
VI.CAPITULO	95
BIBLIOGRAFIA	95
<i>Referencias Bibliográficas</i>	96
VII.CAPITULO	103
ANEXOS	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación taxonómica del maíz	13
Tabla 2: Composición del maíz en diferentes edades de crecimiento.....	14
Tabla 3: Descripción de los factores de estudio que interfieren en la elaboración de cartón.....	39
Tabla 4: Combinación de los tratamientos propuestos.....	39
Tabla 5: Recursos para la investigación	47
Tabla 6: Medición de pH, materiales, equipos y reactivos.....	48
Tabla 7: Determinación de Gramaje, materiales, equipos y reactivos	48
Tabla 8: Determinación de Humedad, materiales, equipos y reactivos	48
Tabla 9: Determinación de Cenizas, materiales, equipos y reactivos	48
Tabla 10: Determinación de Porosidad o Absorción de Agua, materiales, equipos y reactivos.....	48
Tabla 11: Determinación de Cenizas, materiales, equipos y reactivos	49
Tabla 12: Determinación de resistencia a la tracción, materiales, equipos y reactivos.....	49
Tabla 13: Análisis de varianza pH inicial.....	51
Tabla 14: Análisis de varianza pH final	52
Tabla 15: Análisis de varianza para humedad.....	52
Tabla 16: Análisis de varianza resistencia a la tracción	53
Tabla 17: Análisis de varianza para prueba de gota o porosidad	54
Tabla 18: Análisis de varianza para cenizas.....	55
Tabla 19: Análisis de varianza para espesor.....	55
Tabla 20: Resultados de la diferencia entre medias entre el tipo de residuo utilizado de la prueba de significación de Tukey referente a la determinación de humedad.....	59
Tabla 21: Resultados de la diferencia entre medias entre el tipo de residuo utilizado de la prueba de significación de Tukey referente a resistencia a la tensión.....	61
Tabla 22: Resultados de la diferencia entre medias entre el tipo de residuo utilizado de la prueba de significación de Tukey referente a la porosidad	63
Tabla 23: Resultados de la diferencia entre medias entre el tipo de residuo utilizado de la prueba de significación de Tukey referente a Determinación de cenizas.....	65
Tabla 24: Resultados de la diferencia entre medias entre el tipo de residuo utilizado de la prueba de significación de Tukey referente a determinación de espesor	67

Tabla 25: Resultados de la diferencia entre medias entre el tipo de residuo utilizado de la prueba de significación de Tukey referente a determinación de espesor	68
Tabla 26: Resultados de la diferencia entre medias entre método para obtención de material celulósico de la prueba de significación de Tukey referente a pH inicial	70
Tabla 27: Resultados de la diferencia entre medias entre método para obtención de material celulósico de la prueba de significación de Tukey referente a pH final.....	71
Tabla 28: Resultados de la diferencia entre medias entre método para obtención de material celulósico de la prueba de significación de Tukey referente a determinación de humedad.....	73
Tabla 29: Resultados de la diferencia entre medias entre método para obtención de material celulósico de la prueba de significación de Tukey referente a resistencia a la tensión.....	74
Tabla 30: Resultados de la diferencia entre medias entre método para obtención de material celulósico de la prueba de significación de Tukey referente a Porosidad	76
Tabla 31: Resultados de la diferencia entre medias entre método para obtención de material celulósico de la prueba de significación de Tukey referente a determinación de cenizas	78
Tabla 32: Resultados de la diferencia entre medias entre método para obtención de material celulósico de la prueba de significación de Tukey referente a determinación de espesor	80
Tabla 33: Resultados de la diferencia entre medias entre método para obtención de material celulósico de la prueba de significación de Tukey referente a determinación de gramaje	82

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Diagrama de flujo para la elaboración de cartón a partir de tallo	104
Anexo 2: Diagrama de flujo para la elaboración de cartón a partir de elote	105
Anexo 3: Diagrama de flujo para la elaboración de cartón a partir de hojas	106
Anexo 4: Tabla de medias Factor A	107
Anexo 5: Tabla de medias Factor B	107
Anexo 6: Lugar en donde se recolectaron los residuos	108
Anexo 7: Recolección de residuos	108
Anexo 8: Troceado del tallo	109
Anexo 9: Pesado del tallo troceado	109
Anexo 10: Pesado del medio químico ablandador NaOH	109
Anexo 11: Cocción con el método de Wise	110
Anexo 12: Control de temperatura durante la cocción por el método de Wise	110
Anexo 13: Ablandamiento de la fibra	111
Anexo 14: Medición del pH del Licor negro de cocción	111
Anexo 15: Lavado de la fibra	112
Anexo 16: pH después del lavado de la fibra	112
Anexo 17: Pulpa celulósica a partir de tallo por el método de Wise	113
Anexo 18: Pulpa celulósica previo al moldeo	113
Anexo 19: Moldeo de la pulpa celulósica a partir de tallo por el método de Wise	114
Anexo 20: Retiro del exceso de agua de la pulpa celulósica obtenida a partir de tallo por el método de Wise	114
Anexo 21: Prensado de la hoja de cartón obtenida a partir de tallo por el método de Wise	114
Anexo 22: Secado de las hojas de cartón obtenidas a partir de tallo por el método de Wise	115
Anexo 23: hojas de cartón a partir de tallo por el método de Wise	115
Anexo 24: Troceado del tallo para cocción por el método de Kushner y Hoffner	115
Anexo 25: Pesado de tallo troceado para cocción por el método de Kurshner y Hoffner	116
Anexo 26: Pesado del medio químico Na₂SO₃	116
Anexo 27: Cocción de la fibra (tallo) por el método de Kurshner y Hoffner	117

Anexo 28: Control de temperatura durante la cocción por el método de Kurshner y Hoffner.....	117
Anexo 29: Ablandamiento de la fibra por el método de Kurshner y Hoffner	118
Anexo 30: Medición del pH del licor negro de cocción por el método de Kurshner y Hoffner (tallo)	118
Anexo 31: Lavado de la fibra ablandada por el método de Kurshner y Hoffner.....	119
Anexo 32: Medición del pH después del lavado de la fibra cocida por el método de Kurshner y Hoffner	119
Anexo 33: Licuado de la fibra para obtención de pulpa por el método de Kurshner y Hoffner.....	120
Anexo 34: Moldeo de la pulpa celulósica obtenida por el método de Kurshner y Hoffner.....	120
Anexo 35: Secado de la hoja de cartón obtenida por el método de Kurshner y Hoffner.....	121
Anexo 36: Troceado y pesado de la tusa para cocción por el método de Wise	121
Anexo 37: Cocción de la tusa por el método de Wise	122
Anexo 38: Control de temperatura durante la cocción de la tusa por el método de Wise.....	122
Anexo 39: Ablandamiento de la tusa por el método de Wise	123
Anexo 40: Medición del pH del licor negro de cocción de la tusa ablandada por el método de Wise	123
Anexo 41: Lavado de la tusa ablandada por el método de Wise.....	124
Anexo 42: Medición del pH después del lavado de la tusa cocida por el método de Wise.....	124
Anexo 43: Licuado de la tusa para obtención de pulpa por el método de Wise	125
Anexo 44: Moldeo y retiro del exceso de agua de la pulpa celulósica obtenida a partir de tusa por el método de Wise	125
Anexo 45: Hojas prensadas listas para el secado.....	126
Anexo 46: Troceado y pesado de la tusa para la cocción por el método de Kurshner y Hoffner	126
Anexo 47: Cocción de la tusa por el método de Kurshner y Hoffner	127
Anexo 48: Control de temperatura durante la cocción de la tusa por el método de Kushner y Hoffner.....	127
Anexo 49: Ablandamiento de la tusa por el método de Kurshner y Hoffner.....	128

Anexo 50: Medición del pH del licor negro de cocción de la tusa ablandada por el método de Kurshner y Hoffner	128
Anexo 51: Lavado de la tusa ablandada por el método de Kurshner y Hoffner	129
Anexo 52: Medición de pH después del lavado de la tusa ablandada por el método de Kushner y Hoffner	129
Anexo 53: Licuado de la tusa para obtención de pulpa por el método de Kushner y Hoffner.....	130
Anexo 54: Moldeo y retiro del exceso de agua de la pulpa celulósica obtenida a partir de tusa por el método de Kushner y Hoffner	130
Anexo 55: Secado de la hoja de cartón a partir de tusa obtenida por el método de Kurshner y Hoffner	131
Anexo 56: Troceado de las hojas para el método de ablandamiento de Wise	131
Anexo 57: Cocción de las hojas por el método de Wise	132
Anexo 58: Control de temperatura durante la cocción de las hojas por el método de Wise.....	132
Anexo 59: Reposo de las hojas con el medio químico ablandador por el método de Wise.....	133
Anexo 60: Medición del pH del licor negro de cocción de las hojas por el método de Wise.....	133
Anexo 61: Lavado de las hojas ablandadas por el método de Wise.....	134
Anexo 62: Medición de pH después del lavado de las hojas ablandadas por el método de Wise	134
Anexo 63: Licuado de las hojas para obtener pulpa celulósica por el método de Wise.....	135
Anexo 64: Pulpa celulósica a partir de hojas por el método de Wise	135
Anexo 65: Moldeo de la pulpa celulósica a partir de hojas obtenida por el método de Wise.....	136
Anexo 66: Secado de la hoja de cartón a partir de hojas obtenida por el método de Wise.....	136
Anexo 67: Troceado de las hojas para el método de ablandamiento de Kurshner y Hoffner.....	136
Anexo 68: Cocción de las hojas por el método de Kurshner y Hoffner	137
Anexo 69: Control de temperatura durante la cocción de las hojas por el método de Kurshner y Hoffner	137

Anexo 70: Reposo de las hojas con el medio químico ablandador por el método de Kurshner y Hoffner	138
Anexo 71: Medición del pH del licor negro de cocción de las hojas por el método de Kurshner y Hoffner	138
Anexo 72: Lavado de las hojas ablandadas por el método de Kurshner y Hoffner ..	139
Anexo 73: Medición de pH después del lavado de las hojas ablandadas por el método de Kushner y Hoffner	139
Anexo 74: Licuado de las hojas para obtener pulpa celulósica por el método de Kurshner y Hoffner	140
Anexo 75: Pulpa celulósica a partir de hojas por el método de Kurshner y Hoffner	140
Anexo 76: Moldeo de la pulpa celulósica a partir de hojas obtenida por el método de Kurshner y Hoffner	141
Anexo 77: Prensado y secado de las hojas de cartón obtenidas a partir de hojas por el método Kurshner y Hoffner	141
Anexo 78: Fotos del proceso de elaboración del cartón y de los análisis Físicos, químicos y mecánicos	142
Anexo 79: Determinación de espesor	143
Anexo 80: Determinación de Gramaje	143
Anexo 81: Determinación de cenizas	144
Anexo 82: Determinación de porosidad.....	144
Anexo 83: Determinación de humedad.....	145
Anexo 84: Resistencia a la tracción o tensión.....	145
Anexo 85: Registro de asistencia al laboratorio de suelo y aguas	146
Anexo 86: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción o tensión	147

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Formula del rendimiento	84
Ecuación 2: Rendimiento del tallo ablandado con NaOH.....	84
Ecuación 3: Rendimiento de pulpa celulósica a partir de tallo obtenida con NaOH	84
Ecuación 4: Rendimiento del tallo ablandado con Na ₂ SO ₃	85
Ecuación 5: Rendimiento de pulpa celulósica a partir de tallo obtenida con Na ₂ SO ₃	85
Ecuación 6: Rendimiento del elote ablandado con NaOH	85
Ecuación 7: Rendimiento de pulpa celulósica a partir de elote obtenida con NaOH.....	86
Ecuación 8: Rendimiento del elote ablandado con Na ₂ SO ₃	86
Ecuación 9: Rendimiento de pulpa celulósica a partir de elote obtenida con Na ₂ SO ₃	86
Ecuación 10: Rendimiento de hojas ablandadas con NaOH	87
Ecuación 11: Rendimiento de pulpa celulósica a partir de hojas obtenida con NaOH	87
Ecuación 12: Rendimiento de hojas ablandadas con Na ₂ SO ₃	88
Ecuación 13: Rendimiento de pulpa celulósica a partir de hojas obtenida con Na ₂ SO ₃ ...	88

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Grafico de medias referente al factor A y pH inicial	57
Gráfico 2: Grafico de medias referente al factor A y pH final	58
Gráfico 3: Grafico de medias referente al factor A y humedad	60
Gráfico 4: Grafico de medias referente al factor A y resistencia a la tensión	62
Gráfico 5: Grafico de medias referente al factor A y prueba de gota o porosidad.....	64
Gráfico 6: Grafico de medias referente al factor A y determinación de cenizas.....	66
Gráfico 7: Grafico de medias referente al factor A y determinación de espesor	67
Gráfico 8: Grafico de medias referente al factor A y determinación de gramaje.....	69
Gráfico 9: Grafico de medias referente al factor B y pH inicial	71
Gráfico 10: Grafico de medias referente al factor B y pH final	72
Gráfico 11: Grafico de medias referente al factor B y humedad.....	73
Gráfico 12: Grafico de medias referente al factor B y resistencia a la tensión	75
Gráfico 13: Grafico de medias referente al factor B y Prueba de Gota o Porosidad.....	77
Gráfico 14: Grafico de medias referente al factor B y determinación de cenizas.....	79
Gráfico 15: Grafico de medias referente al factor B y determinación de espesor.....	81
Gráfico 16: Grafico de medias referente al factor B y determinación de gramaje.....	82

INTRODUCCIÓN

La producción de maíz está experimentando y experimentará un aumento significativo debido principalmente a dos factores: el aumento de la demanda por razones alimentarias, por un lado, y por razones estratégicas energéticas por el otro [1]. El aumento de la producción generará mayores cantidades de residuos (tallos de maíz, hojas, maíz), que se pueden emplear para brindar valor agregado al cultivo [2].

Con la intención de mejorar la situación anteriormente descrita se ha optado por reutilizar dichos residuos para la elaboración de productos como, el bioetanol, extracción de material lignocelulósico para elaboración de papel, cartón, fuente de alimento de bajo costo para el ganado en pastoreo, reducción de color de aguas residuales con la utilización de la tusa del maíz, entre otros otros [3]; [4] [5] y [6].

En general y en todo proceso, es importante que el rendimiento de la materia prima sea elevado para aprovecharla mejor, aprovechar mejor los recursos y minimizar los residuos [2].

Desde tiempos muy remotos el uso de papel ha sido muy común en el hombre [7]. El uso masivo de este material, en sus diferentes presentaciones ha traído consigo el problema de la deforestación que a su vez ocasiona otros problemas ambientales. Así FAO infiere que la deforestación ocasiona la degradación de suelos, alteraciones en el microclima, pérdida de biodiversidad, supone una amenaza para los pueblos indígenas, altera el funcionamiento de las cuencas hidrográficas, disminuyendo la cantidad de agua limpia, así mismo contribuye al cambio climático, a causa de la emisión de gases de efecto invernadero, principalmente carbono [2].

Teniendo en cuenta el ciclo del papel, es necesario implementar una cultura de reciclaje que utilice residuos de otras fibras que se generan en la producción de celulosa y papel sostenible; todo esto en busca de un desarrollo con calidad y beneficios ecológicos, económicos y sociales de trascendencia para las generaciones presentes y futuras [8].

Es por esto por lo que es fundamental proponer alternativas para mitigar la situación actual de contaminación en agua, suelos y aire. La industria papelera y cartonera en la actualidad procesan material reciclado, sin embargo, no es suficiente porque existen otro tipo de productos que también son usados para fines similares al cartón y papel, por tal razón es de suma importancia incluir un material ecológico y biodegradable para empezar a solucionar uno de los problemas medioambientales que en la actualidad dejan mucho de qué hablar.

La presente investigación hace énfasis en el aprovechamiento de los residuos del maíz tales como; tallo, elote y hojas (Factor A: a_0 =tallo, a_1 =elote, a_2 =hojas) para que estos ya no sean quemados en los campos de cultivo o utilizados como abonos y sean aprovechados como materia prima para la elaboración de cartón. Se utilizarán dos métodos de disolución el método de Jayme Wise y el método de Kurshner y Hoffner (Factor B: b_0 =método de Jayme Wise; b_1 = método de Kurshner Hoffner) para el ablandamiento del tallo, elote y hojas para así determinar cuál de estos proporciona un producto final con mejores cualidades físicas y mecánicas.

También se evaluará el rendimiento para determinar la factibilidad del proyecto y se realizará una simulación del proceso en el software flexsim.

I. CAPITULO

CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problema de investigación

1.1.1. Planteamiento del problema

A nivel mundial la quema de desechos provenientes de la agricultura es uno de los problemas que causan efectos negativos en el ambiente, como la degradación que se da gracias a la emisión de diferentes gases como el CO₂ (dióxido de carbono), CO (monóxido de carbono) que se liberan al ambiente durante la quema de estos residuos, Pm (partículas de materia suspendida) y procesos de erosión que son la principal causa de contaminación en los suelos [9].

El maíz es un producto que se cultiva casi en todo el mundo y durante su cosecha se van generando residuos tales como: tallo, hojas, tusa, a estos subproductos se les pueden extraer varios componentes como: fibra, celulosa, lignina, hemicelulosa, hemicelulosa que servirán posteriormente para la elaboración de papel, bioplástico y láminas de almidón reforzadas con material celulósico [10]; [11]; [12].

Otro de los efectos negativos que se presentan debido a esta práctica es la eliminación de biomasa microbiana presente en los primeros milímetros del suelo, lo cual afecta los procesos naturales de formación y rejuvenecimiento de los suelos, asociados a la sustentabilidad los sistemas productivos y a la posibilidad de aumentar la productividad de estos [13]. Además, afecta a la fauna y a la microflora del suelo en el momento de la aplicación del fuego, pero principalmente disminuye los ingresos de materia orgánica (MO) al suelo, que es la principal fuente de alimento y energía para estos organismos [13].

Estos residuos no están siendo utilizado eficientemente por parte de los agricultores, debido a que presentan diferentes dificultades técnicas en su extracción, manipulación y transporte, así como por la carencia de suficiente información sobre la cantidad y calidad de estos residuos [13].

El cartón debido a sus condiciones de versatilidad y resistencia se consolida como una herramienta útil para la fabricación de cajas que permiten crear un packaging que se adapta a los distintos negocios, industrias y sectores logísticos [14].

Es un material sostenible que se destaca por ser una de las materias primas fundamentales para la economía circular, inicialmente su fabricación se daba solamente a partir de capas de fibra virgen, sin embargo, en la actualidad su elaboración se rige a normativas que exigen que las industrias productoras de este material incluyan cartón reciclado, materiales biodegradables para así reducir la producción de desperdicios y el impacto ambiental [15].

Debido a sus características y costos de producción menor a materiales como el plástico, el cartón se ha convertido en un material de referencia en la fabricación de todo tipo de cajas y embalajes por su ligereza, facilidad para apilarlo y su capacidad de adaptarse a los productos [16].

Dejando así en segundo plano materiales como el plástico, contribuye a preservar los recursos naturales, evita la contaminación del aire, la erosión del suelo y la liberación de gases por la quema de los subproductos no utilizados y permite minimizar el impacto ambiental de los procesos industriales de producción.

Diagnóstico

El maíz es utilizado principalmente para fines alimentarios, además de la producción de biocarburantes, para extraer almidón, aceite y otras sustancias destinadas a usos industriales [17]. La producción de biomasa residual que genera un cultivo de maíz de grano (cañas, hojas, chalas y olotes), fluctúa entre 20 a 35 toneladas por hectárea [17].

Un estudio publicado por la revista Agronomy Journal, descubrió que la eliminación de residuos procedentes del maíz y del trigo repercutía de manera nefasta en la calidad del suelo y el entorno [18]. La eliminación de más del 50% de los residuos agrícolas puede tener consecuencias negativas para la estructura del suelo: reducir la retención de carbono orgánico del suelo, aumentar la erosión del agua y reducir el ciclo de nutrientes y la producción de cultivos, especialmente en suelos inclinados y erosionables [18].

Debido al efecto negativo que provoca la acumulación de residuos agroindustriales se pensó en la elaboración de cartón a partir de desechos provenientes del maíz para así mitigar la contaminación que provoca la quema de residuos en el aire y suelo.

Además, este se consolida como un reemplazo a materiales como el plástico que sirven para empacar diferentes tipos de productos y que a su vez que no logran degradarse con facilidad.

El problema que se pretende solucionar es el desaprovechamiento de materiales que pueden utilizarse en la industria como materia prima para la obtención de otros productos con carácter biodegradable.

Pronóstico

Si no se encuentra una forma de detener la acumulación de residuos y la deforestación esto incidirá gravemente en el ambiente aumentando el índice de contaminación y provocando efectos negativos drásticos a largo plazo que con el pasar del tiempo serán imborrables.

Es por esto por lo que es fundamental proponer alternativas para mitigar la situación actual de contaminación en agua, suelos y aire. La industria papelera y cartonera en la actualidad procesan material reciclado, sin embargo, no es suficiente porque existen otro tipo de productos que también son usados para fines similares al cartón y papel, por tal razón es de suma importancia incluir un material ecológico y biodegradable para empezar a solucionar uno de los problemas medioambientales que en la actualidad suelen ser ignorados.

1.1.2. Formulación del problema

¿Qué características presenta el material celulósico que se extrae de los residuos del maíz, como materia prima para procesar cartón?

1.1.3. Sistematización del problema

¿Cómo influye la utilización de diferentes residuos del maíz en las características finales del cartón?

¿Cómo interviene la utilización de diferentes métodos de obtención del material celulósico en la optimización del tiempo en la fase de cocción y en las características del producto final?

¿Cuál es el rendimiento de la mejor alternativa identificada para la obtención del producto final?

¿Cómo se analizará la producción de cartón para optimizar el proceso?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Evaluar el material celulósico proveniente de los residuos derivados de la agroindustria del maíz (*Zea mays*), en el proceso de elaboración de cartón.

1.2.2. Objetivos Específicos

Determinar la incidencia de la utilización de diferentes residuos de maíz (*Zea mays*) en el proceso de obtención de cartón, sobre las características físicas y mecánicas del cartón.

Identificar cómo influye el método de obtención del material celulósico en las características físico-mecánicas del producto final a partir del material celulósico proveniente de subproductos agroindustriales derivados del maíz (*Zea mays*).

Determinar el rendimiento que se obtiene en el proceso de obtención de cartón a partir de residuos del maíz, utilizando la fórmula de rendimiento para productos.

Demostrar el proceso de elaboración del producto final mediante la simulación, utilizando el software flexsim.

1.3. Justificación

El maíz es uno de los cultivos mayormente producidos a nivel mundial, nativo del continente americano se originó hace 10 mil años, es una gramínea que se cultivó en el eje neovolcánico de México, se introdujo en Europa a finales del siglo XV por exploradores y comerciantes [19]; [20].

Debido a su producción masiva sus subproductos representan una amenaza para el medio ambiente es por esto que se propone la elaboración de cartón a partir de material celulósico proveniente de subproductos agroindustriales derivados del maíz (zea mays) como alternativa al plástico tradicional y solución a la acumulación de residuos. Y así disminuir la cantidad de residuos que genera este cultivo.

Con el propósito de fomentar el aprovechamiento de los subproductos generados y transformar esta materia prima en un producto eco amigable que no solo posee un alto grado de reciclabilidad, sino que también contribuye a la disminución de desechos agroindustriales y reducción de la utilización de material celulósico de origen leñoso, el cartón altamente reciclable se direcciona a ser el tipo de empaque, envase y embalaje mayormente utilizado por las industrias.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis Alternativa

Ha: La utilización de diferentes residuos del maíz influye en las características finales del cartón (físicas químicas y mecánicas: pH, humedad, resistencia a la tensión, porosidad, cenizas, espesor, gramaje).

Ha: La utilización de diferentes métodos de obtención del material celulósico influye en la optimización del tiempo en la fase de cocción y en las características del producto final (pH, humedad, resistencia a la tensión, porosidad, cenizas, espesor, gramaje).

1.4.2. Hipótesis Nula

Ho: La utilización de diferentes residuos del maíz no influye en las características finales del cartón (físicas químicas y mecánicas: pH, humedad, resistencia a la tensión, porosidad, cenizas, espesor, gramaje).

Ho: La utilización de diferentes métodos de obtención del material celulósico no influye en la optimización del tiempo en la fase de cocción y en las características del producto final (físicas químicas y mecánicas: pH, humedad, resistencia a la tensión, porosidad, cenizas, espesor, gramaje)

II. CAPITULO

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco conceptual

2.1.1. Origen y sinonimia del maíz

El maíz, palabra de origen prehispánico que significa "aquello que sustenta la vida", es una forma doméstica de una cepa de teosinte (*Zea mays ssp. Parviglumis*), una "hierba" silvestre perteneciente a la familia de las gramíneas y cuyo nombre científico es *Zea mays*. Este cereal, junto con el trigo y el arroz, es uno de los más importantes del mundo [12].

Según la investigación realizada por Trueba (2009), en la actualidad Mesoamérica es considerado uno de los sitios de domesticación de plantas de mayor relevancia, sobre todo por el maíz, alrededor del cual crecieron las diferentes sociedades que han ocupado esta zona a lo largo de la historia.

Acuña (2005) redacta la mayoría de los investigadores sugieren que el maíz actual se obtuvo de una hierba indígena del Valle Central de México hace unos 7.000 años, mientras que Acosta (2009) sugiere que el maíz se obtuvo entre unos 8.000 años y el 600 a.C. México y Guatemala), probablemente a lo largo del acantilado occidental del centro o sur de México, a 500 km de la Ciudad de México.

2.1.2. Clasificación taxonómica

Ortega (2014) explica en su investigación que, al principio, los taxónomos clasificaron los géneros *Zea* y *Euchlaena*, como dos géneros separados, sin embargo, debido al estudio realizado por Reeves y Mangelsdorf en 1.942 se los considera como un único género, basándose en la compatibilidad entre esos grupos de plantas y los estudios citogenéticos.

Tabla 1: Clasificación taxonómica del maíz

Taxonomía	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Género	Zea
Especie	Zea Mays

Fuente: [21]

2.1.3. Composición química del maíz y sus partes

Dentro del continente americano, el ensilaje de maíz es una práctica muy empleada en los Estados Unidos y en Argentina, asimismo es muy usual en los países europeos [22]. En la franja tropical y especialmente en Mesoamérica, el cultivo de esta planta para forraje está poco extendida debido principalmente a la antigua y amplia cultura del cultivo de maíz para la producción de grano [23].

Para identificar la composición química del maíz se determinó el contenido de materia seca, la proteína cruda, las cenizas totales, la fibra neutro detergente (FND), la fibra ácido detergente (FAD) y la lignina, así como los valores de hemicelulosa y celulosa [22].

Antes de los 65 días de crecimiento, la producción de hojas fue superior a la de tallo. Posterior a esta edad, la planta fue mayor productora de tallo [22]. Las flores emergieron después de los 100 días y ellas tuvieron un alto contenido de materia seca, contribuyendo poco en el rendimiento global del cultivo. A los 120 días, la producción de materia seca en las mazorcas fue ligeramente mayor a la acumulada por las hojas [22].

Por las cualidades fenológicas observadas y la concentración de nutrientes en tallos y hojas, se recomienda la cosecha y el aprovechamiento del forraje de maíz entre 80 y 90 días de crecimiento [22]. En edades posteriores, se puede obtener el beneficio de un mayor tonelaje por unidad de superficie, sacrificando la calidad nutricional [22].

Tabla 2: Composición del maíz en diferentes edades de crecimiento

Parte de la planta	Edad días	MS%	PC%	FND%	Hemicelulosa%	fad%	Celulosa %	Lignina%	Cenizas %
Tallo	37	5.09	18.58	48.66	15.34	33.32	31.50	1.82	24.63
	51	4.97	18.47	48.51	16.25	32.26	29.75	2.51	22.10
	65	4.08	12.86	59.17	17.47	41.70	38.59	3.11	22.80
	79	5.44	10.76	60.93	15.80	45.13	41.58	3.55	22.47
	93	10.23	8.14	73.98	19.93	54.05	48.24	5.81	15.87
	107	10.93	7.41	72.36	24.80	47.56	42.96	4.60	11.77
	121	14.66	7.41	69.31	25.38	43.93	38.16	5.77	7.43
	135	15.62	6.49	69.77	25.13	44.64	39.24	5.40	7.17
	149	16.60	7.30	67.03	24.59	42.44	36.05	6.39	6.64
Hoja	37	9.13	27.85	54.05	22.96	31.09	27.89	3.20	13.70
	51	13.42	22.93	67.81	34.29	33.52	30.68	2.84	12.41
	65	12.51	22.17	64.96	28.68	36.28	33.50	2.78	10.85
	79	11.88	20.66	68.52	28.63	39.89	37.08	2.81	13.15
	93	17.81	17.95	72.26	35.68	36.58	33.90	2.68	11.20
	107	24.90	19.96	62.55	26.19	36.36	32.66	3.70	14.21
	121	21.94	19.05	65.94	30.11	35.83	31.88	3.95	12.76
	135	21.43	16.22	63.36	25.69	37.67	34.30	3.37	16.25
	149	27.44	14.76	63.35	29.67	35.68	31.40	4.28	13.20
Flor	107	30.35	19.70	46.12	21.11	25.01	18.14	6.87	5.26
	121	27.01	10.68	67.16	26.87	40.29	35.19	5.10	18.12
	135	29.98	8.47	72.19	32.48	39.71	35.55	4.16	6.37
	149	39.03	10.38	72.43	32.65	39.78	33.53	6.25	11.95
Mazorca	107	9.56	15.20	60.95	35.79	25.16	23.25	1.91	7.33
	121	11.44	13.13	64.57	36.98	27.55	24.42	3.13	5.35
	135	16.28	10.56	63.38	34.63	30.75	28.51	2.24	5.14
	149	17.23	9.80	56.97	32.18	24.79	23.00	1.79	3.74

Fuente: [22].

2.1.4. Características botánicas del maíz

Abarca (2014) describe en su investigación que el maíz presenta las siguientes características basándose en la redacción de Maroto (1998) de su libro Horticultura herbácea especial.

Tallo

Es simple, erguido en forma de palo y macizo por dentro, es largo y puede llegar a medir metros de altura, además es robusto y no tiene ramas [24].

Hojas

Son largos, lanceolados, alternos, de nervios paralelos y grandes [24]. Se encuentran abrazados al tallo y con presencia de vellosidad en el haz, además, los extremos de las hojas son muy afilados y cortantes [24].

Inflorescencia

Es una planta monoica ya que tiene inflorescencias masculinas y femeninas separadas dentro de la misma planta [24]. La inflorescencia masculina es una panícula amarilla (comúnmente llamada oreja o penacho) que tiene alrededor de 20 a 25 millones de granos de polen, además, cada flor que forma la panícula contiene tres estambres donde se desarrolla el polen [24].

Por otro lado, la inflorescencia femenina, si se fertiliza con granos de polen, se llama mazorca, aquí las semillas (granos de maíz) se agrupan a lo largo de un eje, este pistón está cubierto por hojas verdes que terminan en una especie de pluma de color amarillo oscuro, formado por estilos [24].

Grano

El tegumento (fruto) se llama pericarpio, es duro, debajo está la capa de aleurona que le da el color al grano (blanco, amarillo, morado), contiene proteínas y en su interior está el endospermo con 85-90 % del peso de la sémola [24]. El embrión está formado por la radícula y la plúmula [24].

2.1.5. Desechos sólidos agroindustriales

Los desechos sólidos son los residuos que se generan debido a las actividades humanas, los que generalmente se desechan como inútiles [25]. Se obtienen como un subproducto de las actividades comerciales, industriales o agrícolas, y por lo general son una gran fuente de contaminación, por lo que actualmente se buscan alternativas de usos de estos residuos [25].

La industria agrícola es una de las principales fuentes de generación de residuos sólidos, los que están constituidos principalmente por los tallos, raíces, hojas u otras partes de las plantas que no son utilizadas en estos procesos [25].

2.1.6. Celulosa

Gañan (2017) describe a la celulosa como un polímero natural que tiene como estructura base los enlaces 1,4- β glucosídicos que tiene una estructura semicristalina y esta puede variar dependiendo del tipo de fuente de la cual es aislada. Explica que a partir de la celulosa es posible obtener múltiples tipos de morfologías, estructuras supramoleculares, relaciones de aspecto y por ende propiedades físicas y mecánicas muy variadas. Adicional a lo anterior, la presencia de tres grupos OH en cada una de las unidades estructurales le permite reaccionar bien sea como un alcohol, un éster o un éter [26].

Esto ha permitido ampliar la gama tanto de modificaciones químicas posibles como de derivados; y que hayan sido empleados tanto por la industria farmacéutica como por la de alimentos o la textil [26]. En años recientes, polímeros derivados de la celulosa han adquirido un renovado interés debido a su potencial biodegradación [26].

2.1.7. Lignina

Sifontes y Domine explican (2013) que la lignina es uno de los biopolímeros más abundantes en las plantas y junto con la celulosa y la hemicelulosa conforma la pared celular de las mismas, conforme disposición regulada a nivel nano-estructural, dando como resultado redes de lignina-hidratos de carbono. La composición o distribución de los tres componentes en esas redes varía dependiendo del tipo de planta [27].

Además, afirman que la lignina se encuentra en todas las plantas vasculares y, como muchos otros componentes de la biomasa, se forma mediante la reacción de fotosíntesis, y que esta es considerada como un recurso renovable asequible y de potencial uso industrial, cuya producción anual se ha estimado en el intervalo de 5-36 x 10⁸ toneladas [27].

2.1.8. Holocelulosa

Flor y Huatatocha (2020) narran que la Holocelulosa son carbohidratos poliméricos totales de los compuestos de hexosas y pentosas y a su vez estos producen hidrólisis de los azúcares, siendo insolubles en agua y solubles en álcali, difieren de la celulosa por sus ramificaciones y su grado de menor polimerización.

2.1.9. Cartón

Las primeras cajas de cartón ondulado tratan de 1.874, patentado por Oliver Long. Anteriormente ya se habían usado cajas de cartón, aunque no eran muy resistentes ya que se deterioraban durante el transporte y almacenaje [28].

Gines (2017) explica que en EE. UU. fue Robert Gair, posteriormente fue considerado el padre del cartón plegado, ya que fue él quien diseñó la caja con hendiduras y pegado en la solapa. También diseñó las primeras máquinas para fabricar cartón, pero producían láminas muy pequeñas (entre 30 y 45 cm) ya que inicialmente este material solo se empleaba como refuerzo interior y embalaje externo para cajas de madera o barriles [28].

Además afirma que desde entonces la evolución de la maquinaria ha sido constante y se han producido grandes progresos, como la cantidad de papel empleado en la fabricación del cartón, para aumentar su resistencia como consecuencia de esta evolución hoy en día la caja de cartón es el embalaje de preferencia para el transporte de mercancías, ya que fue utilizado en las carretas de madera hace siglos, hasta los aviones más modernos y actualmente con el gran boom que ha supuesto Internet y la compra online se ha magnificado más aun su uso [28].

2.1.10. Uso del cartón

El cartón ondulado es un material utilizado habitualmente para la fabricación de envases y embalajes [28]. Para entender que es el cartón, primero debemos analizar el material del que está compuesto, el papel [28].

El papel es un material compuesto por pulpa de celulosa (pasta de fibras vegetales molidas suspendidas en agua) entrelazadas irregularmente, pero fuertemente adheridas entre sí [28]. El cartón se produce por superposición de papeles en múltiples formas, creando la gran amplia gama de cartones que encontramos en el mercado actualmente [28].

El cartón más utilizado actualmente en packaging es el cartón ondulado, compuesto por una estructura mecánica formada por la unión de varios papeles equidistantes por uno o varios papeles en forma de onda [28].

El cartón posee una gran ventaja medioambiental que no tienen la mayoría de los materiales ya que se fabrica con recursos sostenibles y renovables, principalmente pinos y abetos de rápido crecimiento [28]. Además, es un material biodegradable y reciclable hasta que las fibras de celulosa que proporcionan la resistencia se deterioran debido al continuo procesamiento [28].

2.1.11. Hidróxido de Sodio

Ríos y Saavedra [7] describen el Hidróxido de Sodio como un sólido blanco que industrialmente se utiliza como disolución, este es soluble en agua, desprendiéndose calor. Absorbe humedad y dióxido de carbono del aire y es corrosivo de metales y tejidos [29]. Este se utiliza, en el tratamiento de la celulosa para producir rayón y celofán, en la producción de plásticos, jabones y otros productos de limpieza, entre otros usos [29]. Se obtiene, principalmente por electrólisis de cloruro de sodio, por reacción de hidróxido de calcio y carbonato de sodio y al tratar sodio metálico con vapor de agua a bajas temperaturas [29].

2.1.12. Sulfito de sodio

El sulfito de sodio es un conservante sintético, se obtiene derivado de la combustión de minerales con azufre. Se emplea para prevenir enzimas, bacterias y evitar la decoloración de los alimentos, y en panadería para mejorar la capacidad de amasado del pan [30]. Se descompone por calentamiento, esto produce humos tóxicos y corrosivos, la sustancia es un reductor fuerte, reacciona violentamente con oxidantes, reacciona con ácidos fuertes [31]. Produce óxidos de azufre tóxicos es nocivo en caso de ingestión, puede provocar síntomas de alergia o asma o dificultades respiratorias si se inhala puede provocar una reacción cutánea alérgica, nocivo para los organismos acuáticos [31].

2.1.13. Efectos que causa en el medio ambiente la acumulación de residuos y la industria papelera

El maíz es uno de los cereales que más se produce y consume a nivel mundial. Se utiliza principalmente para fines alimentarios, además de la producción de biocarburantes, para extraer almidón, aceite y otras sustancias destinadas a usos industriales [17]. El Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) estima que la Producción Mundial de Maíz 2020/2021 sería de 1.186.86 millones de toneladas, la Producción de Maíz del 2019 fue de 1.114.75 millones de toneladas. Los 1.186.86 millones de toneladas estimados para este año podrían significar un incremento de 72.10 millones de toneladas o 6.47% en la producción de maíz alrededor del mundo [17].

Según los datos de Inec, en Ecuador se produjeron cerca de 1.2 millones de toneladas de maíz en las más de 200.000 hectáreas sembradas en el país, la provincia de Los Ríos es la mayor productora de 566.043 Tm (Toneladas métricas) de maíz duro, Manabí 355.230 Tm, Guayas 315.390 Tm y Chimborazo junto a otras provincias productoras de maíz cosecha 199.443 Tm [17]. La producción de biomasa residual que genera un cultivo de maíz de grano (cañas, hojas, chalas y olotes), fluctúa entre 20 a 35 toneladas por hectárea [17].

El estudio publicado por la revista *Agronomy Journal*, descubrió que la eliminación de residuos procedentes del maíz y del trigo repercutía de manera nefasta en la calidad del suelo y el entorno [17]. La eliminación de más del 50% de los residuos agrícolas puede tener consecuencias negativas para la estructura del suelo: reducir la secuestación de carbono orgánico del suelo, aumentar la erosión del agua y reducir el ciclo de nutrientes y la producción de cultivos, especialmente en suelos inclinados y erosionables [17].

El papel se ha convertido en el medio esencial para registrar y transmitir conocimientos e ideas entre individuos, culturas y generaciones [32]. En teoría, el papel puede reunir todos los requisitos de un producto inocuo para el ambiente: es un producto natural, biodegradable, se fabrica a partir de fuentes renovables y puede ser reutilizado y reciclado [32].

Sin embargo, la realidad es diferente: la industria papelera puede consumir hasta 4.000 millones de árboles al año, algunos de ellos procedentes de bosques primarios que no pueden sustituirse; para fabricar la pasta con que se produce el papel, la industria vierte a los ríos 950.000 toneladas métricas de organoclorados, emite a la atmósfera 100.000 tm de bióxido de azufre y 20.000 tm de cloroformo [32].

La tecnología moderna para producir pasta para papel y papel genera uno de los efluentes más tóxicos que se conocen, consume mucha energía y grandes cantidades de agua fresca [32]. Las prácticas modernas de tala forestal y las plantaciones desmesuradas de monocultivos de crecimiento rápido, al servicio de la industria papelera, por su parte, tienen un impacto desastroso sobre el ambiente [32]. A pesar de que la práctica de reciclar papel se ha generalizado en la mayoría de los países occidentales, la producción y el consumo de papel nuevo han estado creciendo constantemente en los últimos años [32].

La demanda de papel para impresoras y fotocopiadoras está aumentando [32]. La publicidad y el correo directo han prosperado de la mano de economías fuertes, y los productos de papel desechables han desplazado en el mercado a muchos otros que son reutilizables [32]. Al mismo tiempo, en los países más industrializados, los productos de papel constituyen el 40% de toda la basura que va a los tiraderos o es incinerada [32].

Para satisfacer la demanda de productos de papel se están derribando millones de árboles al año, sin embargo, este gran número de árboles es insuficiente para colmar la creciente hambre de pape [32]. La industria multinacional del papel ha experimentado una expansión sin precedentes, se construyen más fábricas en nuevas zonas de desarrollo como América Latina o en países más industrializados como Australia, Canadá o España [32]. Su objetivo es aprovechar las últimas zonas vírgenes y transformar los bosques autóctonos en inmensas plantaciones de pino y eucalipto [32].

2.1.14. Aislamiento de la celulosa

Tradicionalmente la celulosa es aislada empleando diferentes tipos de procesos físicos, mecánicos y químicos que, dependiendo del tipo de nivel de tamaño o pureza deseada, tiene lugar una remoción sucesiva de los compuestos no celulósicos que la acompañan o la reducción progresiva de tamaño, debido a la estructura jerárquica en la que se encuentra [26].

Sumado a lo anterior, dependiendo del tipo de fuente de celulosa es preciso establecer elementos adicionales, por ejemplo: Para el caso de la celulosa de origen vegetal es importante considerar la procedencia del cuerpo vegetal y la edad de la planta o árbol al momento en que se realizó el corte, pues es posible que el grado de cristalización o de polimerización de la celulosa pueda ser diferente afectando así sus propiedades mecánicas [26].

Gañan (2017) afirma que hasta mediados de los años 70's del siglo XX la mayoría de las aplicaciones bien fuera de la celulosa aislada o en asocio con otros componentes lignocelulósicos, se encontraba dominada por las industrias de Pulpa y papel, textil y sus derivados. Además, en un menor rango el desarrollo de sustancias como la celulosa microcristalina le ha permitido ser empleada como aditivo para alimentos, componentes farmacéuticos o incluso en la elaboración de productos de soldadura [26].

Sin embargo, con el enorme surgimiento de los materiales compuestos, ha realizado desde esta década notables incursiones en campos tan disímiles como el de transporte, elementos de construcción o empaques, gracias a su incorporación en matrices poliméricas tanto de tipo termoplástico como termorrígido [26].

En este punto las variaciones de los reforzantes a base de celulosa incluyen un amplio espectro de formulaciones que pueden ir desde fibras vegetales de menor nivel de comercialización en el mundo como el fique, hasta las más tradicionales en el mercado como el lino o el algodón [26].

2.2. Marco referencial

2.2.1. Uso de Materiales Celulósicos derivados de subproductos del maíz para la elaboración de cartón

La celulosa se conoce como el polímero natural más cuantioso en la tierra y, al igual que el almidón, se compone de monómeros de glucosa [33]. Cada monómero se une mediante un enlace β -1,4 glicosídico lo que genera una cadena de uniones fuertes con enlaces de hidrógeno [33]. Lagace (2009) explica que los materiales celulósicos y lignocelulósicos son producidos, procesados y utilizados en grandes cantidades en una serie de aplicaciones y como resultado, hay una cantidad siempre en incremento de material celulósico y lignocelulósico residual.

Nariño (2015) afirma que los polímeros constituyentes de los materiales lignocelulósicos; celulosa lignina y hemicelulosas se separan por fraccionamiento, posteriormente se purifican y propone que a partir de estas fracciones obtener una amplia gama de productos de alto valor agregado como celulosas para usos textiles, alimenticios o farmacéuticos, fibras papeleras, paneles, derivados de la lignina usados como adhesivos y derivados hemicelulósicos como xilosa, manosa o furfural.

Según Yaschenko (2020), los principales consumidores de celulosa son la industria de la pulpa y el papel para la producción de papel y cartón, y la industria química para la producción de derivados de la celulosa, esta recientemente ha atraído un interés considerable como fuente de materias primas debido a sus propiedades únicas, como alto módulo elástico, alta área de superficie específica, transparencia óptica, bajo coeficiente de expansión térmica y reactividad química, alta transparencia, biodegradabilidad y biocompatibilidad, un bajo costo de producción y ligereza en comparación con los polímeros sintéticos.

La principal materia prima para la producción de celulosa en la industria mundial de la celulosa y el papel es la madera [34]. Para los países que no tienen grandes reservas de madera libre, las fuentes alternativas de materias primas fibrosas pueden ser materias primas vegetales no madereras (NWPM): plantas anuales y perennes y desechos fibrosos de la producción agrícola [34].

Baldi narra (2000) que la atención prestada por la industria a un gran número de especies arbóreas, más que a las plantas de ciclo vegetativo corto, depende del hecho de que las tecnologías más extendidas para la producción de pasta de papel se han desarrollado más hacia la madera que hacia el resto de las materias primas fibrosas, ya que las materias primas fibrosas de origen no leñoso requieren intervenciones específicas y diferenciadas para cada una de ellas. cada uno de ellos.

El objetivo de los distintos procesos de transformación de un vegetal en pulpa es, favorecer de la forma más adecuada y oportuna la separación de las fibras, el resultado puede lograrse mediante diferentes tipos de energía administrada, de forma que se supere la fuerza de cohesión de la lignina [35]., Además, el autor especifica que la energía, según el procedimiento adoptado para lograr la separación de las fibras puede ser del tipo mecánica, química y térmica [35].

Mejía (2008) menciona que el consumidor está cada vez más interesado en la posibilidad de disponer de papeles obtenidos a partir de métodos no contaminantes, haciendo posible conseguir una mayor proporción de estas materias primas en la fabricación total de pasta de papel. Además, el autor explica que existe evidencia de que utilizando una combinación adecuada de fibras no madereras se puede fabricar cualquier tipo de pape [36]. La ventaja que ofrecen las fibras no madereras es el bajo contenido en lignina y el inconveniente es su alto contenido en sílice [36].

Todo lo anteriormente mencionado nos lleva directamente a explicar cuál es la materia prima utilizada para la elaboración de cartón, cuáles eran las técnicas utilizadas anteriormente y cuales métodos alternativos sobresalen en la actualidad para ir de la mano con el cuidado del medio ambiente, dicho esto se debe hacer énfasis en el proceso de elaboración de cartón proveniente de fibras no leñosas, fibras no leñosas más papel reciclado, y fibras no leñosas más cartón reciclado.

Por lo tanto, el cartón como tal se define como un derivado del papel elaborado con múltiples capas de papel, que le permiten su consistencia gruesa y resistencia, es un producto reciclable y se utiliza para el empaque de varios elementos, es uno de los materiales más usados para empaque y embalaje por sus ventajas tales como: Protección del contenido durante su transporte y almacenamiento; Identificación; Economía y naturaleza reciclable [37].

2.2.2. Uso de fibras no maderables en el papel y cartón

Al producir papel, las fibras vegetales no leñosas son muy limitadas, pero se utilizan aquellas materias primas que contienen celulosa en su composición, es decir, fibras vegetales [38]. Hay que decir que no existe mucha investigación sobre la fabricación de papel a partir de materias primas de fibra no maderera que contengan celulosa, por otro lado, se conocen pocos estudios a partir de residuos agroindustriales como cascarilla de arroz, plátano y corona de piña para la obtención de pulpa y papel artesanal [38].

Por su composición en fibras vegetales no leñosas varía según la especie y parte de la materia prima analizada durante la elaboración del papel, lo más importante es la celulosa, pero en su estructura hay otros compuestos como la lignina, la holocelulosa y algunos extractos en menor cantidad [38].

2.2.3. Método de Jayme Wise

Flor y Huatatocha (2020) Explican en su investigación que el método Jayme Wise es un método ácido que utiliza productos químicos hechos de clorito de sodio y ácido acético que elimina parcialmente la lignina, dejando fibras elásticas y fibrosas [38]. Porque en este proceso las astillas se cuecen a una temperatura de 70 a 80 °C, al igual que la materia prima sin madera de las hojas, tallos o vainas [38].

Flor y Huatatocha [38] describen que, en la antigüedad, el carbonato de sodio se usaba para fabricar papel, pero al ser muy costosos han sido reemplazados por hidróxido de sodio, como primera etapa para la desintegración de los componentes lignocelulósicos y finalmente por clorito de sodio en un ambiente ácido para clarificar la pulpa que se encuentra. obtenido. Dependiendo de los reactivos consumidos, existen dos tipos de cocción:

Cocción intensa: se utiliza para obtener un papel claro, limpio y fuerte, utilizado para sobres o papel hilado [38].

Cocción menos intensa: para obtener un papel más oscuro y resistente que se pueda utilizar como papel para bolsas y embalajes [38].

2.2.4. Método de Kurshner y Hoffner

Es un método con sulfito o alcohol en un medio ácido que elimina totalmente la lignina y sustancias no hipadas con calor y presión de la sustancia disuelta en agua a una temperatura de 135 – 140 °C [38].

Flor y Huatatoca [38] describen que el proceso se alterna con baños de vapor unas cinco veces para controlar el blanqueo con peróxidos o acetato de sodio. Este sistema reduce la resistencia, calidad y cantidad de fibra. Hay dos formas de cocinar de la misma forma que el método anterior:

Cocción intensa: utilizado para la fabricación de papel higiénico y sanitario y papeles blancos de resistencia limitada [38].

Cocción menos intensa: Los papeles obtenidos tienen una calidad media y buenas propiedades de resistencia. Se utiliza para hacer papeles de envolver y, mezclado con otras pastas, hacer papeles para escribir [38].

.

2.2.5. Tiempo de secado de la hoja de papel o cartón

Según la investigación realizada por Yakelin Yulisa Cieza Tarrillo (2020) el tiempo que se dejar secar la hoja es durante 2 a 4 días, dependerá del clima. El secado puede ser al aire libre en sombra con ventilación [39].

La forma más habitual de secar el papel es tender cada tela sobre una baldosa o bien colgarla con el papel en una cuerda [40]. Cuando el papel esté completamente seco, lo separaremos de la tela con cuidado [40].

2.2.6. Secado de la hoja de maíz para producir pulpa celulósica para elaborar papel o cartón

Mackencie y Escobar (2017) para el estudio manejaron como materia prima hojas de mazorca de maíz con un peso cercano a 1440 g, para obtener la fibra o celulosa necesaria para la producción de papel, la materia seca se secó, molió y pesó.

Este proceso se llevó a cabo para obtener una materia prima con bajo contenido de humedad en su estructura, la cual se llevó a cabo en un horno Memmert por un período de 2 horas a una temperatura de 60 °C y moliendo la mazorca de hojas de maíz a su tamaño con un molino manual en partículas más pequeñas y así facilitar la hidrólisis de la materia prima utilizada [41].

2.2.7. Elaboración de papel artesanal y cartón con fibras no leñosas

Benítez y Lara (2009) explican que existe una gran variedad de materias primas para la elaboración de papel artesanal entre las que se destacan materiales no leñosos como pajas, bambúes, bagazo, etc. y residuos vegetales generados de actividades agrícolas e industriales y puntualizan que en general toda materia prima que se presente bajo forma de fibras de dimensión conveniente y que sean susceptibles de formar enlaces químicos entre ellas, es apta para la fabricación del papel.

Además, enfatizan que para lograr la extracción de la celulosa y obtener una pulpa idónea para la fabricación del papel se cocina la materia prima en una solución alcalina recalando que la temperatura de reacción ha de ser la de ebullición de la solución a presión atmosférica [42]. Es muy importante en esta etapa la cocción uniforme de las fibras, de manera que se suavicen y el papel tenga un acabado consistente [42].

Finalmente recomiendan que la reacción de hidrólisis debe ser llevada a cabo en un tanque de acero inoxidable, provisto de una camisa para llevar a cabo el control sobre la transferencia de calor; no obstante, se sugiere el suministro de calor a partir de un quemador de gas, por contribuir a mejorar la rentabilidad económica del proyecto [42].

Luego de ser lavada exhaustivamente, la pulpa así obtenida se coloca en un recipiente con agua y se agita para asegurar que se encuentre bien disuelta [42]. Para la formación del papel se necesita un bastidor cuya función es la de contener la pulpa al retirarla del agua para darle forma a la hoja de papel [42].

El bastidor está formado por el marco y el contramarco, dos piezas iguales que pueden confeccionarse con madera. Su tamaño dependerá del tamaño del papel que se quiere elaborar, en el marco se debe clavar la malla que servirá para recoger la pulpa [42]. El contramarco no lleva malla [42].

Para hacer la hoja de papel artesanal se debe introducir el bastidor en el recipiente en forma vertical, luego rotarlo en forma horizontal y esperar a que se forme una lámina de pulpa sobre éste [42]. Una vez el grosor de la película sea el deseado, se debe retirar el bastidor del agua en forma horizontal y mientras se escurre mover el bastidor para fomentar el entrecruzamiento de las fibras [42].

Cuando la hoja ha escurrido suficiente agua, se debe quitar el contramarco y desmoldar el papel artesanal sobre un paño de lienzo o algodón, presionando de los bordes del marco en forma pareja hasta que no expulse más agua [42].

Las hojas se deben prensar en una prensa hidráulica durante 24 horas, durante las cuales se debe cambiar la posición de las hojas en la prensa continuamente [42]. Al cabo del tiempo previsto se retira el papel todavía húmedo del lienzo y se completa el secado en una cámara con circulación de aire caliente o secado al aire libre [42].

2.2.8. Elaboración de papel artesanal a base de los residuos vegetales de los tallos de maíz (*Zea mays L*) y cáscara de plátano (*Musa paradisiaca L*) utilizando los métodos químicos de Jayme-Wise, Kurshner y Hoffner

Se utilizaron los residuos de los tallos de maíz (*Zea mays*) y cáscaras de plátano (*Musa Paradisiaca*) en la elaboración de papel artesanal mediante los métodos químicos de Jayme-Wise, Kurshner y Hoffner, se analizó la materia prima para demostrar la cantidad de celulosa que tiene cada uno, ya que se elaboraron diferentes tipos de papel según la cantidad de fibra vegetal, en esta investigación se obtuvo un 63,66 % de celulosa en las cáscaras de plátano y un 51,33% en los tallos de maíz siendo óptimos para elaborar papel artesanal [38].

El papel que se obtuvo por el método de Jayme-Wise de la cáscara de plátano se considera como un papel vegetal útil para la copia de imagen, de acuerdo con los valores que se calculó en gramaje $53,39 \text{ g/m}^2$ es útil como bolsas de alimentos [38]. Según las propiedades mecánicas de este papel con $72.62 \text{ kPa.m}^2/\text{g}$, 119.79 kN/m , se considera no resistente y frágil, para el uso en bolsas de papel [38].

El papel artesanal con el método de Kurshner y Hoffner de la cáscara de plátano, tiene similitud con un papel cartulina, presentó un gramaje de 45.82 g/m^2 , teniendo en cuenta que el color es igual al periódico porque no tiene un blanqueamiento total del papel, según las propiedades mecánicas concretaron que no es tan resistente a su elongación, pero es bueno para copia de imágenes y la escritura [38].

El papel artesanal que se elaboró de los tallos de maíz con el método de Jayme-Wise (TM1-MJW), presenta buenas propiedades físicas y mecánicas con una humedad de 6.42% , ceniza 4.53% , gramaje 45.82 g/m^2 , espesor 0.06 mm , porosidad 17.97% , resistencia a la explosión $54.86 \text{ kPa.m}^2/\text{g}$, resistencia a la tensión 129.36 kN/m , resistencia al rasgado 301.59 mN , similar a un papel periódico, del igual manera con el método de Kurshner y Hoffner, útil para impresiones, escrituras o dibujos, se comparó con el papel Kraft Blanco por su gramaje, su gran resistencia y absorción de agua, se puede utilizar como bolsas de guardar alimentos como pastas, semillas y productos relacionados con la misma [38].

2.2.9. Diseño de un proceso para la obtención de papel a partir de la celulosa extraída del olote de maíz (zea mays l. var. ceratina).

Se extrajo la celulosa del olote de maíz mediante un tratamiento alcalino en NaOH a 95°C separando la lignina y otros componentes con un rendimiento del $44,73\%$ dejando así una pulpa celulósica destinada a formar láminas de papel, a nivel de laboratorio se elaboraron láminas de papel de color blanco, característico del bond comercial confirmado por los ensayos de la Norma NTE INEN 1423:2013 [43].

Mediante la experimentación se obtuvieron variables de proceso para fabricar papel de la celulosa del olote de maíz, la primera corresponde a un diámetro partícula de 360 μm en el proceso de molienda y tamizaje, seguido de una proporción 3:10 para la cantidad de la sosa caústica en relación con la materia prima [43].

También que el mejor pulpeado se alcanzó usando 2,75 litros de agua, en 3 horas, a una temperatura constante de 95 ° C y un tiempo de maceración de 24 horas [43]. Finalmente, el proceso de blanqueado se efectuó a 0,75 horas, una temperatura de 50 ° C con una proporción 2:1 de hipoclorito de sodio en relación con el agua, si esta proporción es superior la pulpa pierde sus propiedades de adherencia dificultando la formación de las láminas de papel [43].

Se validó el proceso mediante la caracterización de las láminas de papel mediante las normas NTE INEN 536:2013 Gramaje del papel, NTE INEN 1974:2013 Resistencia al Rasgado, NTE INEN 1399:2013 Calibre del papel, NTE INEN 1423:2013 Blancura de pape, TAPPI T 236 om-99 Número de Kappa, obteniendo los siguientes valores: gramaje (1,15 g/m^2), índice de resistencia al rasgado (189 kgf), calibre (0,182 mm), número de puntos (105) y el color blanco de la lámina (mediante gráfica espectrofotométrica) [43]

2.2.10. Estudio de especies no leñosas de la provincia de Loja (Ecuador) como potenciales materias primas para la fabricación de papel artesanal

El trabajo realizado aporta el análisis de 15 plantas no leñosas abundantes y de fácil cultivo en la región sur de Ecuador [44]. Las fibras extraídas de las plantas presentan propiedades variables: el contenido de celulosa está entre 59 y 16 %, con mayor fracción de alfa celulosa (50-11 %) comparada con beta (8-1 %) y gamma celulosa (14-0.2 %) y bajo contenido de lignina (< 3 %) [45]. El componente principal de las plantas para uso como materia prima en la fabricación de papel es la celulosa, aunque el contenido de este componente es variable, se comprueba que es factible técnicamente la producción de papel artesanal a partir de ellas. Para completar el estudio se requiere un análisis económico preliminar [44].

El papel obtenido a partir de las fibras de las especies estudiadas tiene propiedades aceptables de acuerdo con el control de calidad realizado [45]. Ocho de las quince especies estudiadas producen hojas de papel con gramajes $>$ de 100 g/m^2 y espesor entre 0.29 y 0.57 mm, estas características podrían ubicar al papel elaborado como un papel artesanal para trazados, que puede usarse en la elaboración de tarjetas, pinturas y obras decorativas [44]. La variedad de propiedades del papel, principalmente en cuanto a gramaje puede ser atribuida a que se aplicó un mismo procedimiento a una amplia variedad de plantas [44].

Los parámetros seleccionados para el análisis multicriterio estuvieron basados en la cantidad y calidad del papel a obtener [44]. La escala lineal establecida con un valor unitario para el máximo y cero para el mínimo en los parámetros favorables, y viceversa para los desfavorables, permite hacer una ponderación equitativa de los criterios asignados [44].

Las especies que representan mejores alternativas para la fabricación de papel artesanal fueron *Alcea rosea*, *Saccharum officinarum*, y *Agave americana* var. *Marginata*. [45]. Las fibras obtenidas a partir de estas especies podrían considerarse como alternativas para satisfacer un posible déficit de fibra de madera en la fabricación de papel [45].

2.2.11. Simulación de procesos

Según Lescano (2021) Un modelo de simulación debería ser visto esencialmente como una herramienta “Que pasa si”, que permite al diseñador experimentar con diseños alternativos y estrategias para ver el impacto que aquellas decisiones tienen en el sistema global. La simulación evalúa con precisión el desempeño de un sistema por complejo que este sea [46]. Es evaluadora y no generadora de soluciones, es decir que no produce una solución óptima, sino, por el contrario, es una herramienta de evaluación que nos orienta hacia la mejor solución [46].

Dado que un modelo es un conjunto de instrucciones, reglas, ecuaciones o ligaduras, es necesario disponer de un agente capaz de obedecer las instrucciones y reglas, y de evaluar las ecuaciones, con el fin de generar el comportamiento descrito en el modelo. Este agente se denomina simulador [46]. Así pues, puede definirse un simulador como cualquier agente computacional (tal como un único procesador, una red de procesadores, la mente humana, o de manera más abstracta, un algoritmo) capaz de ejecutar el modelo para generar su comportamiento [46].

2.2.12. pH del papel

Establece la acidez, alcalinidad o neutralidad química de un material, los papeles con pH bajo son ácidos y se autodestruyen, los papeles con pH 7 o neutro adquieren mejor vida, los papeles alcalinos con pH 7 a 8 poseen mayor potencial de larga vida útil [47].

2.2.13. Normas vigentes para la elaboración de cartón

Determinación de Gramaje TAPPI T 410

Según lo estipulado en las normas Tappi 410 Se denomina peso base al peso en gramos, de un metro cuadrado de papel [48]. También se acostumbra a llamarlo gramaje [48]. En la mayoría de los casos, es el parámetro que define un papel para las operaciones de compraventa. En algunos cartoncillos se emplea el espesor o calibre [48].

Determinación de Humedad TAPPI / ANSI T 412 om-16

El siguiente procedimiento se aplica a pulpa, papel, cartón y productos de papel, excepto aquellos que contienen cantidades significativas de materiales distintos al agua que son volátiles a menos de 107 ° C (224,6 ° F) o se degradan por encima de 103 ° C (217,4 ° F) [49].

La humedad es importante por razones económicas y por su efecto sobre propiedades tales como capacidad de impresión, contracción, estabilidad dimensional, resistencia física y capacidad de funcionamiento del papel [49].

Este método debe seguirse para:

- Determinar la cantidad de humedad en una gran cantidad de pulpa, papel o cartón como humedad “tal como se recibió”.
- Determine la cantidad de humedad en los contenedores de envío.
- Calcule los resultados del análisis del contenido de humedad sobre el peso original de la muestra [49].

Determinación de Cenizas TAPPI T 211

El método de prueba de cenizas TAPPI T 211 para la determinación de cenizas a 525 ° C se puede aplicar a todos los tipos y grados de papel de pulpa de madera y productos de papel [50].

Una muestra de ensayo se enciende en un horno de mufla a 525 ° C. Se analiza una muestra de prueba separada para el porcentaje de humedad [50]. El peso resultante de ceniza y el nivel de humedad en la muestra se utilizan para calcular el porcentaje de ceniza presente a 525 ° C sobre una base de muestra libre de humedad [50].

Determinación de Absorción de agua o Porosidad NTE INEN 1407

Mide el tiempo desde que una gota de agua entra en contacto con el papel, hasta que el agua sea absorbida completamente por él [51]. Se define como el tiempo que se demora en pasar de un lado al otro una gota de agua que cae de una altura de 1 pulgada sobre una muestra de corrugado medio [51].

Determinación del Espesor NTE INEN 1399

Este método consiste en medir el grosor de una hoja de papel o cartón utilizando un micrómetro de funcionamiento automático cuando se aplica una carga estática durante un tiempo mínimo determinado [52] [47].

El espesor es una propiedad importante de los papeles y cartones [47]. Las variaciones en el espesor son también importantes para ciertos usos finales del papel y del cartón [47]. El ensayo es usual en trabajos de investigación, controles de rutina, diseño de productos de uso final y en ensayos de aceptación, conforme a especificaciones. La densidad aparente y otras propiedades del papel son relativas al espesor [52].

Resistencia a la tracción

Esta norma describe un procedimiento, empleando un equipo tipo péndulo, para determinar dos propiedades de rotura por tracción (tensión) del papel y cartón, que son, fuerza por unidad de ancho requerida para romper una pieza de ensayo (resistencia a la tensión) en papel y cartón [53].

Se estira una pieza de ensayo de dimensiones conocidas hasta su ruptura, dicho estiramiento debe realizarse a una velocidad constante de alargamiento, usando un aparato de ensayo de tracción que mida la fuerza de tracción, y si es necesario el alargamiento [53]. Debe registrarse la fuerza de tracción máxima y si fuese el caso el alargamiento correspondiente [53].

III. CAPITULO

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización

Los subproductos que se utilizaron para la elaboración de cartón fueron: tallo, hojas y elote de maíz variedad amarillo duro provenientes de la provincia de Los Ríos, cantón Mocache recinto Caña Dulce propietario del sembrío sr. Juan Gutiérrez Rivas.

El proceso de elaboración de cartón se realizó en los laboratorios de Suelos y Agua de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo de la Finca Experimental “La María”, localizada en el kilómetro 7 ½ de la Vía Quevedo- El Empalme de la provincia de Los Ríos.

La prueba mecánica de resistencia a la tracción se realizó en la planta procesadora de cartón Procarsa ubicada en Km 6.5 Vía Duran – Tambo, Guayaquil.

3.2. Tipo de investigación

Para el desarrollo del presente proyecto se aplicaron los métodos de investigación que se mencionan a continuación:

- **Investigación descriptiva.** Este tipo de investigación consistió en el diagnóstico de los problemas que se generan en la industria de producción de papel o cartón como la deforestación, quema de residuos que eventualmente pueden ser procesados para obtener pulpa celulósica, por lo tanto, se describieron los factores que intervienen en los daños ocasionados al medio ambiente y así sugerir como solución el aprovechamiento de residuos derivados de la agroindustria del maíz.
- **Investigación analítica.** Reincidió a la interpretación y estudio de datos originados al valorar los tres tipos de materia prima utilizados en el proceso de elaboración de cartón (subproductos del maíz) en este caso tallo, hojas y elote, los tipos de reactivos utilizados para los métodos de Jayme Wise o Kurshner y Hoffner que consintieron el ablandamiento de las fibras que se manipularon para la obtención de pasta celulósica.

- **Investigación bibliográfica.** Se empleó para compilar información proveniente de papers, libros, fichas técnicas y normativas referentes a las exigencias a las que se debe regir el cartón, por este tipo de investigación se obtuvo la información necesaria para conocer métodos empleados en la elaboración de cartón, las problemáticas actuales sobre los problemas medioambientales que perjudican al planeta, la base teórica para comparar los resultados de la presente investigación y así redactar la discusión de los resultados obtenidos.
- **Investigación experimental.** Se efectuó mediante la obtención de pulpa celulósica para la elaboración de cartón, implicó el uso reactivos que fueron esenciales y ejercieron su función de ablandadores en los dos métodos utilizados para la elaboración de cartón, la toma del pH del licor de cocción, los resultados arrojados en el experimento mediante pruebas físicas y mecánicas, tales como, Humedad, Resistencia a la tensión, Resistencia al rasgado, Porosidad, Cenizas, Espesor, Gramaje y se determinó también cuál es el mejor tratamiento mediante el estudio del rendimiento.

3.3. Métodos de investigación

En el presente proyecto de investigación se aplicaron los métodos de investigación que se mencionan a continuación:

- **Método inductivo:** este método permitió tener presente los problemas que se originan en el medio ambiente; debido a que los residuos agrícolas que son desechados o quemados, así como los que imputa la fabricación de papel y cartón generan una alteración en el medio ambiente. Por tal motivo se consideró el aprovechamiento de los subproductos agroindustriales del maíz para elaborar un cartón con otro tipo de fibra que empequeñezca el impacto ambiental.
- **Método deductivo:** Se utilizó para verificar que las sobras de maíz: tallos, maíz y hojas son desechadas e incineradas en los campos después de la cosecha y post cosecha y que estas conservan fibras que se vuelven viables para inducir la producción de papel o cartón; Reducir la deforestación y la emisión de gases que se liberan cuando se queman estos residuos.

- **Método analítico:** se aplicó el método analítico para identificar los tratamientos que permitieron crear un cartón que obtuviera características apropiadas, calificando mediante pruebas físicas y mecánicas cuál fue el mejor método que permitió obtener un producto óptimo para una posterior utilización, que también se examinó conforme el análisis del rendimiento.

3.4. Fuente de recopilación de información

La información se fundamentó por medio de fuentes tales como proyectos de investigación similares sobre la producción de cartón utilizando fibras no madereras, así como investigaciones orientadas a la obtención de fibra de maíz para la producción de papel y cartón, artículos científicos para sostener la investigación con información bibliográfica fiable.

3.5. Diseño de la investigación

En este estudio se aplicó un diseño factorial (A * B), se utilizó A para el análisis del tipo de materia prima a partir de residuos de maíz amarillo duro, en factor B se utilizaron dos métodos para la obtención de material celulósico el cual utiliza dos agentes químicos diferentes: hidróxido de sodio (NaOH) y sulfito de sodio (Na₂SO₃) en la fibra; el primero corresponde al proceso de Jayme-Wise y el segundo medio de ablandamiento químico corresponde al proceso de Kurshner y Hoffner.

La prueba de significancia de Tukey se utilizó para determinar los efectos entre las distintas etapas y tratamientos. Las variables examinadas son: comprobación del pH del licor de cocción, los resultados obtenidos en el experimento mediante pruebas físicas y mecánicas, como humedad, resistencia a la tracción, porosidad, ceniza, espesor, peso y finalmente el mejor tratamiento mediante análisis de rendimiento.

3.5.1. Factores de estudio

Los factores de estudio que intervienen en la presente investigación se evidencian a continuación:

Tabla 3: Descripción de los factores de estudio que interfieren en la elaboración de cartón

Factores de estudio	Simbología	Descripción
Factor A: Residuo del maíz	A ₀	Tallo
	A ₁	Elote
	A ₂	Hojas
Factor B: Método para obtención de material celulósico	B ₀	Jayme Wise (NaOH)
	B ₁	Kurshner y Hoffner (Na ₂ SO ₃)

Fuente: Rendón A. (2021)

3.5.2. Tratamientos de la investigación

Se utilizó un diseño factorial AxB con los niveles detallados a continuación: A=3; B=2; proporcionando como resultado 6 tratamientos con 3 repeticiones, que al final arrojaron 18 unidades experimentales.

Tabla 4: Combinación de los tratamientos propuestos

Número	Simbología	Descripción
1	A ₀ B ₀	Tallo + Jayme Wise (NaOH)
2	A ₀ B ₁	Tallo + Kurshner y Hoffner (Na ₂ SO ₃)
3	A ₁ B ₀	Elote + Jayme Wise (NaOH)
4	A ₁ B ₁	Elote + Kurshner y Hoffner (Na ₂ SO ₃)
5	A ₂ B ₀	Hojas + Jayme Wise (NaOH)
6	A ₂ B ₁	Hojas + Kurshner y Hoffner (Na ₂ SO ₃)

Fuente: Rendón A. (2021)

El análisis estadístico de los resultados a obtenerse de las variables de estudio se realizó mediante un análisis de varianza (ANOVA) para determinar los efectos entre niveles y tratamientos se utilizó la prueba de significancia de Tukey ($p < 0,05$). Este análisis se efectuó en el programa estadístico INFOSTAT y STATGRAPHICS.

- Tratamientos: 6
- Repeticiones: 3
- Unidades experimentales: 18

3.5.3. Variables de Estudio

Las respuestas que se estudiaron son:

El licor de cocción para la elaboración de cartón:

- pH

Producto final

- Características físicas y mecánicas

Humedad

Resistencia a la tensión

Porosidad

Cenizas

Espesor

Gramaje

Mejor tratamiento

- Rendimiento

Simulación del proceso de fabricación

- Materia prima que proporcionó un proceso más veloz de fabricación

3.6. Instrumentos de Investigación

3.6.1. Manejo del Experimento

A continuación, se detalla la parte experimental del proyecto Evaluación del material celulósico proveniente de residuos derivados de la agroindustria del maíz (*Zea mays*), para el proceso de elaboración de cartón”.

Para la elaboración de cartón se utilizaron dos métodos de ablandamiento con medio químico: el método de Jayme Wise y el método de Kurshner y Hoffner, siendo el primero un método ácido que utiliza productos químicos como clorito de sodio, hidróxido de sodio y ácido acético, y el segundo que se caracteriza por la utilización de sulfito de sodio y alcohol.

Ambos métodos detallan diferentes tipos de cocciones; cocción intensa que sobrepasa las 4 horas utilizada regularmente para la obtención de papel y la cocción menos intensa que es aquella que se utiliza para la obtención de papel cartón. En la presente investigación se utilizó la cocción menos intensa que tiene una duración de entre 2 a 4 horas que es la que permitió obtener el producto que analizamos posteriormente.

Después de haber formado el cartón se realizaron las pruebas de resistencia a la tensión, se determinó el espesor, gramaje, etc.

Se procedió a trabajar con diferentes medios químicos ablandadores y varias temperaturas de cocción, los materiales utilizados fueron prácticamente agua, pulpa de fibras vírgenes no leñosas derivadas de residuos del maíz en este caso hojas, tallos, elotes y reactivos.

Se receiptó la materia prima se realizó una inspección de esta y se verificó si existía la presencia de insectos o podredumbre en las hojas, tallos y elote.

Tallo y Elote

El proceso de ablandamiento para tallo y elote se realizó según el procedimiento descrito a continuación:

- Tanto el elote y los tallos se cortaron en trozos pequeños para así facilitar su cocción, la cantidad a utilizar será de 1kg.
- Se diluyó el medio químico, ya sea el NaOH para el método de ablandamiento de Jayme Wise o el Na₂SO₃ para el método de ablandamiento de Kurshner y Hoffner, en este proceso se tomará el 5% en peso del químico ya sea para el método de Jayme Wise o el método de Kurshner y Hoffner por los 1.000 gramos de materia prima en 2.000 ml de agua.
- Se realizó la cocción una vez mezclada la materia prima con la solución, el tiempo de cocción será a una temperatura en el rango entre 80 °C y 90 °C durante 4 horas, para el método de Jayme Wise, mientras para el método de Kurshner y Hoffner se realizó una cocción en un rango de temperatura entre los 135 – 140 °C durante 4 horas que permitió obtener las condiciones de ablandamiento y posteriormente se verificó si los trozos se desintegraban al frotar.
- Se lavó la fibra para retirar el licor negro y los materiales higroscópicos que produjeron los químicos hasta que el agua fue transparente y se obtuvo un pH de 8 a 7.
- Se procedió a fibrilar la pulpa para aumentar la unión entre fibras en una licuadora.
- Se moldeó agitando la pasta horizontal y verticalmente con movimientos rápidos y se levantó con cuidado para que la pasta quede uniforme.
- El prensado se realizó retirando un poco de agua con un paño absorbente y se colocó un peso significativo hasta que se retiró la mayor cantidad de agua.
- Para el secado se colgaron las hojas de cartón para que se sequen al aire libre y al sol durante un periodo de cuatro días.

Hojas

Con respecto a las hojas se utilizó el siguiente procedimiento que manejo los dos medios químicos ablandadores basándose en los métodos anteriormente mencionados.

- Para las hojas se realizó una cocción de baño maría y a la vez se sumergieron en el medio químico ya sea el NaOH para el método de ablandamiento de Jayme Wise o el Na₂SO₃ para el método de ablandamiento de Kurshner y Hoffner, con una concentración de 0.5% al 2% para ambos métodos de ablandamiento a una temperatura de 95°C durante 1 hora. La materia prima sumergida en el hidróxido o sulfito se dejó reposar durante 4 días en un ambiente cerrado sin presencia de oxígeno.
- Después del reposo se separó con la ayuda de un tamiz la fibra del licor negro que se generó durante la cocción.
- Se efectuó la eliminación de los restos de licor negro con agua hasta que el agua no se tornara amarilla.
- Se procedió a fibrilar la pulpa para aumentar la unión entre fibras en una licuadora.
- Después se procedió a la formación de la hoja de papel cartón para lo que se utilizó un bastidor rectangular.
- Se moldeó agitando la pasta horizontal y verticalmente con movimientos rápidos y se levantó con cuidado para que la pasta quede uniforme.
- El prensado se realizó retirando un poco de agua con un paño absorbente y se colocó un peso significativo hasta que se retiró la mayor cantidad de agua.
- Para el secado se colgaron las hojas de cartón para que se sequen al aire libre y al sol durante un periodo de cuatro días.

3.6.2. Análisis físicos químicos y mecánicos

Los métodos empleados para la realización de los ensayos pertinentes tuvieron lugar en los laboratorios de Suelos y Agua de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo de la Finca Experimental “La María”, localizada en el kilómetro 7 ½ de la Vía Quevedo- El Empalme de la provincia de Los Ríos, en la planta procesadora de cartón Procarsa ubicada en Km 6.5 Vía Duran – Tambo, y en la planta procesadora ubicada en Guayaquil, basándose cada análisis en las normas Tappi e Inen.

Determinación del pH

Para determinar el pH del licor negro de cocción durante la obtención de pulpa celulósica, se realizó la toma del pH al finalizar la cocción de la fibra, según lo indicado en la norma NTE INEN 1418 utilizando 50 ml del líquido que se introdujeron en un vaso de precipitación, posteriormente se colocó el potenciómetro digital dentro de la muestra sin que este tocara las paredes del recipiente y los sólidos que pudieron estar presentes en la muestra y finalmente se esperó que marcara el valor correspondiente al potencial de hidrogeno del licor negro de cocción.

Para establecer que la fibra que posteriormente se convertiría en pulpa celulósica alcanzara un pH entre 7 y 8 se realizó un lavado de esta hasta que la coloración del líquido fuera transparente y finalmente se tomó el pH para confirmar que se había eliminado los restos del medio químicos ablandador realizando el procedimiento anteriormente descrito.

Determinación del gramaje

Para la determinación del gramaje se hizo uso de una balanza analítica según lo indicado en la norma Tappi 410, se usaron muestras de dimensiones 10x10 cm² y se colocaron en una balanza analítica para así obtener el peso de la muestra, este se lo expresa en g/m².

Determinación de humedad

Para realizar la determinación de humedad según lo estipulado en la norma Tappi 412 se tomaron muestras de dimensiones 10x10 cm², se tomó el peso inicial de las muestras colocándolas en una balanza analítica sucesivamente las muestras se llevaron a una estufa con temperatura a 105 C durante 60 minutos. Después de haber transcurrido los 60 minutos se extrajeron las muestras y se dejaron en reposo durante 10 minutos, finalmente se tomó lectura del peso de cada muestra en una balanza analítica y se realizó el cálculo pertinente.

Determinación de cenizas

Para la determinación de cenizas según lo que establece la norma Tappi 211, se llevaron a una mufla las muestras con una temperatura de 525 C durante 60 minutos, la cantidad de muestra que se colocó en los crisoles fue de 1 gr, una vez carbonizada la muestra se registró la lectura del peso de las muestras en una balanza analítica.

Porosidad o Absorción de Agua

Según lo que establece las normas Inen 1407 se tomaron muestras con las medidas de 10x10 cm², estas se colocaron en el soporte de la bureta para sucesivamente dejar caer una gota de agua destilada y tomar el tiempo en el que la gota entra en con tacto con el cartón hasta que es absorbido por este.

Determinación del espesor

Se realizó según lo estipulado en las normas Inen 1399, se tomó lectura del espesor con un micrómetro, las muestras tuvieron dimensiones de 10x10 cm² y se procedió a registrar los datos arrojados.

Resistencia a la tracción

La norma INEN 1405 describe el proceso de medición de resistencia a la tensión según lo especificado en la norma TAPPI 494. Se estiró una pieza de ensayo de dimensiones de 9 pulgadas de longitud y 2 pulgadas de ancho hasta su ruptura, dicho estiramiento se realizó a una velocidad constante de alargamiento, se utilizó un aparato de ensayo de tracción que midió la fuerza de tracción, y el alargamiento. Se registró la fuerza de tracción máxima y si fuese el caso el alargamiento correspondiente.

Determinación del rendimiento

Se calculó en base al cociente del peso de la materia prima que ingresa (fibra seca) sobre el peso de salida (hoja de papel cartón).

Simulación del proceso de fabricación

Se realizó la simulación del proceso donde se utilizó las maquinarias encargadas de la producción de papel basándose en los tiempos de cocción, materia prima utilizada, tiempos de secado de la hoja de cartón obtenida y se determinó cuál de estas materias prima presenta un proceso más eficiente.

3.7. Tratamiento de datos

El análisis estadístico de los resultados a obtenerse de las variables de estudio se realizó mediante un análisis de varianza (ANOVA) para determinar los efectos entre niveles y tratamientos se utilizó la prueba de significancia de Tukey ($p < 0,05$). Este análisis se realizó en los programas estadísticos INFOSSTAT y STATGRAPHICS y STATISTICA.

3.8. Recursos materiales

3.8.1. Materiales y Equipos

Se enlistan los reactivos, equipos materiales entre otros en la tabla mostrada a continuación:

Tabla 5: Recursos para la investigación

Materiales	Equipos	Reactivos	Recurso Humano
18 moldes A4 con malla metálica	Mufla	Agua Destilada	Ariana Valeria Rendón Pozo
Tamiz	Bureta	NaOH	
Lienzo	Estufa	Na ₂ SO ₃	
Vaso de precipitación	Licuadora	Agua	
Cuchillos	Cocina Industrial		
Mascarilla y cofia	Cilindro de Gas		
Mandil	Ollas		
Guantes	Micrómetro		
Recipientes	Potenciómetro		
Cucharones	Balanza Analítica		
Papel secante	Bureta Graduada		
Toallas	Porta Bureta		
Varilla	Equipo universal de tensión		
Pinzas Metálicas	Prensa		
Tijeras	Desecador		
Residuos de Maíz (Hojas, Tallos y Tusa)			

Fuente: Rendón A. (2021)

A continuación, se detallan los análisis fisicoquímicos realizados en los laboratorios de Suelos y Agua de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo de la Finca Experimental “La María”, localizada en el kilómetro 7 ½ de la Vía Quevedo- El Empalme de la provincia de Los Ríos.

pH

Tabla 6: Medición de pH, materiales, equipos y reactivos

Materiales	Equipos	Reactivos
Vaso precipitado de 100 ml	Potenciómetro	Agua Destilada

Fuente: Rendón A. (2021)

Gramaje

Tabla 7: Determinación de Gramaje, materiales, equipos y reactivos

Materiales	Equipos	Reactivos
Muestra de 10x10 cm ²	Balanza analítica	No se utilizaron reactivos

Fuente: Rendón A. (2021)

Humedad

Tabla 8: Determinación de Humedad, materiales, equipos y reactivos

Materiales	Equipos	Reactivos
Muestra de 10x10 cm ²	Estufa	No se utilizaron reactivos
Tijeras	Balanza analítica	
Lápiz		

Fuente: Rendón A. (2021)

Cenizas

Tabla 9: Determinación de Cenizas, materiales, equipos y reactivos

Materiales	Equipos	Reactivos
Muestra de 1g	Mufla	No se utilizaron reactivos
Tijeras	Balanza analítica	
18 crisoles		
Pinzas metálicas		

Fuente: Rendón A. (2021)

Porosidad o Absorción de agua

Tabla 10: Determinación de Porosidad o Absorción de Agua, materiales, equipos y reactivos

Materiales	Equipos	Reactivos
Muestra de 10x10 cm ²	Bureta	Agua Destilada
Soporte universal	Porta bureta	
Cronometro		

Fuente: Rendón A. (2021)

Espesor

Tabla 11: Determinación de Cenizas, materiales, equipos y reactivos

Materiales	Equipos	Reactivos
Muestra de 10x10 cm ²	Micrómetro	No se utilizaron reactivos

Fuente: Rendón A. (2021)

Resistencia a la tracción

Tabla 12: Determinación de resistencia a la tracción, materiales, equipos y reactivos

Materiales	Equipos	Reactivos
Muestra de 2x9 in	Equipo universal de tensión Zwick Roel	No se utilizaron reactivos

Fuente: Rendón A. (2021)

IV. CAPITULO
RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Resultados

4.1.1. Resultados del análisis de varianza con respecto a la utilización de diferentes residuos de maíz (*Zea mays*) en el proceso de obtención de cartón, sobre las características físicas, químicas y mecánicas del cartón

Análisis de Varianza del pH del licor negro de cocción

Análisis de Varianza para pH Inicial - Suma de Cuadrados Tipo III

Tabla 13: Análisis de varianza pH inicial

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Residuo del maíz	4,06541	2	2,03271	680,09	0,0000*
B: Método para obtención de materia	0,268889	1	0,268889	89,96	0,0000*
INTERACCIONES					
AB	2,02201	2	1,01101	338,25	0,0000*
RESIDUOS	0,0358667	12	0,00298889		
TOTAL (CORREGIDO)	6,39218	17			

Fuente: Rendón A. (2021)

Interpretación: En los resultados obtenidos en la tabla 13 se observó diferencia significativa entre los factores A (Residuo del maíz) y B (Método de obtención de material celulósico) e interacciones analizadas demostrando que el pH inicial está directamente relacionado con el tipo de residuo que se utilizó como materia prima y que los valores de este varían de acuerdo con el método de obtención de material celulósico utilizado.

Análisis de Varianza para pH Final - Suma de Cuadrados Tipo III

Tabla 14: Análisis de varianza pH final

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Residuo del maíz	1,60004	2	0,800022	15,07	0,0005*
B: Método para obtención de materia	0,454422	1	0,454422	8,56	0,0127*
INTERACCIONES					
AB	0,461911	2	0,230956	4,35	0,0379*
RESIDUOS	0,637	12	0,0530833		
TOTAL (CORREGIDO)	3,15338	17			

Fuente: Rendón A. (2021)

Interpretación: En los resultados obtenidos en la tabla 14 se evidenció diferencia significativa entre los factores A (Residuo del maíz) y B (Método de obtención de material celulósico) e interacciones analizadas, el pH final está directamente relacionado con el tipo de residuo que se utilizó como materia prima y que los valores de este varían de acuerdo con el método de obtención de material celulósico utilizado.

Análisis de Varianza Humedad

Análisis de Varianza para Humedad - Suma de Cuadrados Tipo III

Tabla 15: Análisis de varianza para humedad

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Residuo del maíz	8288,7	2	4144,35	5,69	0,0183*
B: Método para obtención de materia	0,0624222	1	0,0624222	0,00	0,9928
INTERACCIONES					
AB	5370,23	2	2685,11	3,69	0,0564
RESIDUOS	8737,93	12	728,161		
TOTAL (CORREGIDO)	22396,9	17			

Fuente: Rendón A. (2021)

Interpretación: En los resultados obtenidos en la tabla 15 se observó diferencia significativa en el factor A (Residuo del maíz) mientras que para el factor B (Método de obtención de material celulósico) e interacciones analizadas no se evidenció diferencia significativa, por lo tanto, se demostró que el pH final varía de acuerdo con la materia prima utilizada, es decir que al momento del lavado de la fibra los valores del pH obtenidos dependen solamente del tipo de residuo.

Análisis de Varianza Resistencia a la tensión o tracción

Análisis de Varianza para Resistencia a la tensión - Suma de Cuadrados Tipo III

Tabla 16: Análisis de varianza resistencia a la tracción

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Residuo del maíz	114,454	2	57,2272	1,64	0,2341
B: Método para obtención de materia	58,9336	1	58,9336	1,69	0,2178
INTERACCIONES					
AB	16,2041	2	8,10207	0,23	0,7960
RESIDUOS	418,076	12	34,8397		
TOTAL (CORREGIDO)	607,669	17			

Fuente: Rendón A. (2021)

Interpretación: En la tabla 16 no se evidenció diferencia significativa en los factores A (Residuo del maíz), B (Método de obtención de material celulósico) e interacciones analizadas, por lo tanto, se demostró que sin importar el tipo de residuo utilizado y el método para la obtención de material celulósico en la prueba de resistencia a la tensión o tracción se obtuvieron resultados estadísticamente iguales.

Análisis de Varianza Prueba de Gota o Porosidad

Análisis de Varianza para Prueba de Gota o Porosidad - Suma de Cuadrados Tipo III

Tabla 17: Análisis de varianza para prueba de gota o porosidad

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Residuo del maíz	36,2324	2	18,1162	3,85	0,0510
B: Método para obtención de materia	0,88445	1	0,88445	0,19	0,6722
INTERACCIONES					
AB	0,7081	2	0,35405	0,08	0,9279
RESIDUOS	56,4265	12	4,70221		
TOTAL (CORREGIDO)	94,2514	17			

Fuente: Rendón A. (2021)

Interpretación: En la tabla 17 no se observó diferencia significativa en los factores A (Residuo del maíz), B (Método de obtención de material celulósico) e interacciones analizadas, por lo tanto, se demostró que sin importar el tipo de residuo utilizado y el método para la obtención de material celulósico en la prueba de gota o porosidad se obtuvieron resultados estadísticamente iguales.

Análisis de Varianza Determinación de Cenizas

Análisis de Varianza para Cenizas - Suma de Cuadrados Tipo III

Tabla 18: Análisis de varianza para cenizas

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Residuo del maíz	0,0727444	2	0,0363722	152,26	0,0000*
B: Método para obtención de materia	0,0296056	1	0,0296056	123,93	0,0000*
INTERACCIONES					
AB	0,0593444	2	0,0296722	124,21	0,0000*
RESIDUOS	0,00286667	12	0,000238889		
TOTAL (CORREGIDO)	0,164561	17			

Fuente: Rendón A. (2021)

Interpretación: En la tabla 18 se encontró diferencia significativa entre los factores A (Residuo del maíz) y B (Método de obtención de material celulósico) e interacciones analizadas. Esto demostró que la determinación de cenizas está directamente relacionada con el tipo de residuo que se utilizó como materia prima y que los valores de esta varían de acuerdo con el método de obtención de material celulósico utilizado.

Análisis de Varianza Determinación de Espesor

Análisis de Varianza para Espesor - Suma de Cuadrados Tipo III

Tabla 19: Análisis de varianza para espesor

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Residuo del maíz	0,00444444	2	0,00222222	0,05	0,9476
B: Método para obtención de materia	0,00888889	1	0,00888889	0,22	0,6503
INTERACCIONES					
AB	0,0711111	2	0,0355556	0,86	0,4458
RESIDUOS	0,493333	12	0,0411111		
TOTAL (CORREGIDO)	0,577778	17			

Fuente: Rendón A. (2021)

Interpretación: Al observar los resultados obtenidos en la tabla 19 no se evidenció diferencia significativa en los factores A (Residuo del maíz), B (Método de obtención de material celulósico) e interacciones analizadas, se demostró que sin importar el tipo de residuo utilizado y el método para la obtención de material celulósico en la prueba de determinación de espesor se obtuvieron resultados estadísticamente iguales.

Análisis de Varianza Determinación de Gramaje

Análisis de Varianza para Gramaje - Suma de Cuadrados Tipo III

Tabla 20: Análisis de varianza para gramaje

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Residuo del maíz	1,71721	2	0,858606	6,73	0,0110*
B: Método para obtención de materia	1,03201	1	1,03201	8,08	0,0148*
INTERACCIONES					
AB	0,986411	2	0,493206	3,86	0,0507
RESIDUOS	1,53187	12	0,127656		
TOTAL (CORREGIDO)	5,26749	17			

Fuente: Rendón A. (2021)

Interpretación: En la tabla 20 se observó diferencia significativa en los factores A (Residuo del maíz), B (Método de obtención de material celulósico) mientras que en la interacción analizada no se evidenció diferencia significativa, por lo tanto, se demostró que sí importa el tipo de residuo utilizado y el método para la obtención de material celulósico para alcanzar un buen espesor en el producto final por tal razón en la prueba de determinación de espesor se obtuvieron resultados estadísticamente diferentes para los factores A y B.

4.1.2. Resultados de la prueba de significación con respecto a la incidencia de la utilización de diferentes residuos de maíz (*Zea mays*) en el proceso de obtención de cartón, sobre las características físicas, químicas y mecánicas del cartón

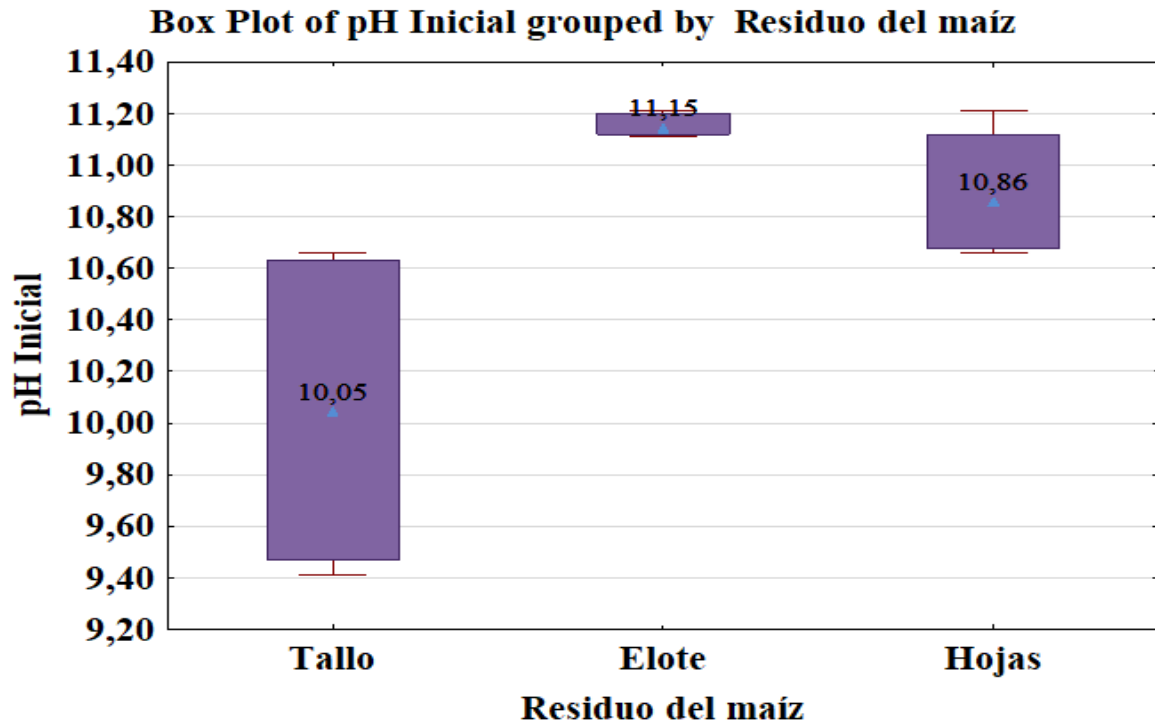
Resultados referentes al licor de cocción

Tabla 21: Resultados de la diferencia entre medias entre el tipo de residuo utilizado de la prueba de significación de Tukey referente al pH Inicial

Factor A Residuo del maíz	pH inicial
Tallo	10,04
Elote	10,94
Hojas	11,16

Fuente: Rendón A. (2021)

Gráfico 1: Grafico de medias referente al factor A y pH inicial



Fuente: Rendón A. (2021)

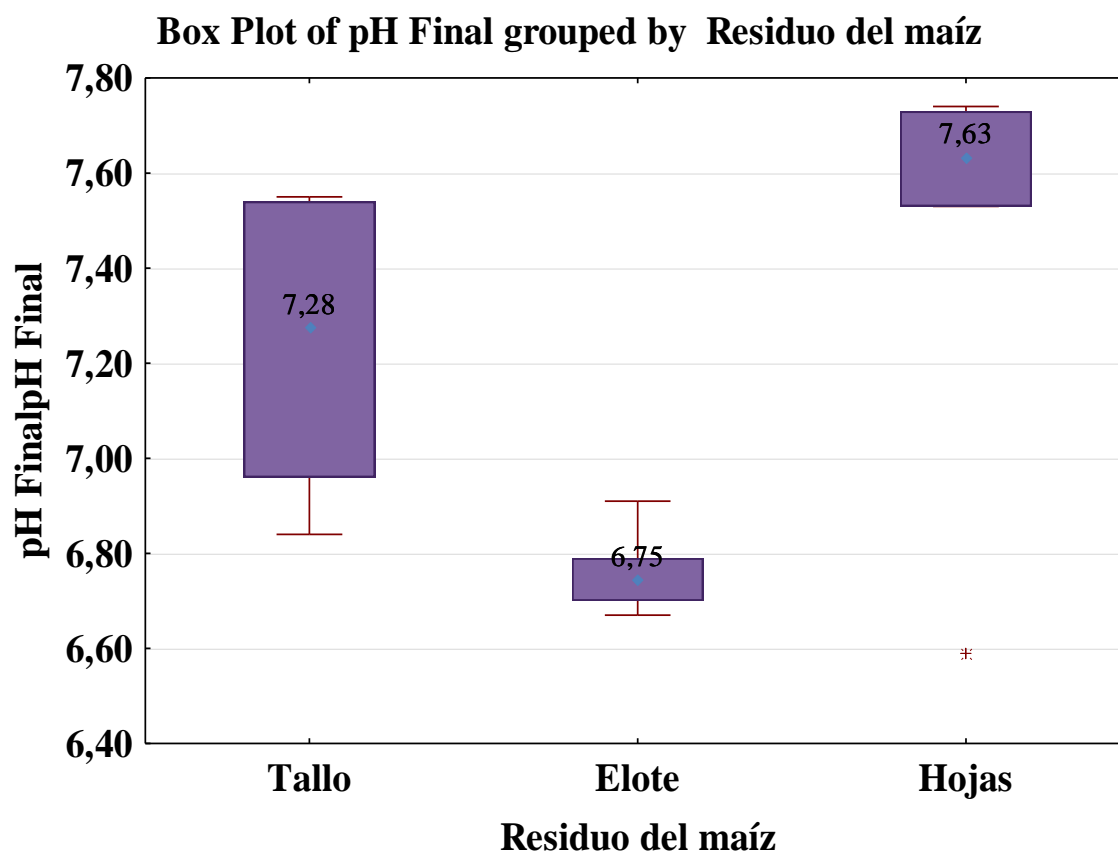
Interpretación: El grafico que el pH inicial estuvo influenciado de acuerdo con los tipos de residuos utilizados, 11,15 el valor más alto correspondiente al grupo C y 10,05 el valor más bajo correspondiente al grupo A.

Tabla 22: Resultados de la diferencia entre medias entre el tipo de residuo utilizado de la prueba de significación de Tukey referente al pH Final

Factor A Residuo del maíz	pH final
Tallo	6,76
Elote	7,24
Hojas	7,48

Fuente: Rendón A. (2021)

Gráfico 2: Grafico de medias referente al factor A y pH final



Fuente: Rendón A. (2021)

Interpretación: El grafico 2 demostró diferencia significativa entre los valores del pH final con respecto a los tipos de residuos utilizados, 7,63 fue el valor más alto correspondiente al grupo B, seguido de 7,28 correspondiente también al grupo B y 6,75 el valor más bajo correspondiente al grupo A.

Con respecto al factor A (residuo de maíz) los valores del pH del licor de cocción a₂ hojas (7,63) se encuentra en el rango establecido en la norma ISO 9706 en donde se establece un rango de pH comprendido entre 7,5 y 10, según la Investigación de Bustillos [47], mientras que a₀ y a₁ no se encuentran en una escala aceptable. Sin embargo, existe una investigación que difiere en los rangos establecidos para el pH en donde se indica que es posible obtener un pH comprendido entre 6.5 y 7.5, ya que la cantidad del medio químico ablandador que se utiliza actúa diferente en cada tipo de residuo y es por esto por lo que los valores del pH pueden establecerse como aceptables desde un rango que parte desde 6,5 [44].

Resultados referentes al producto final

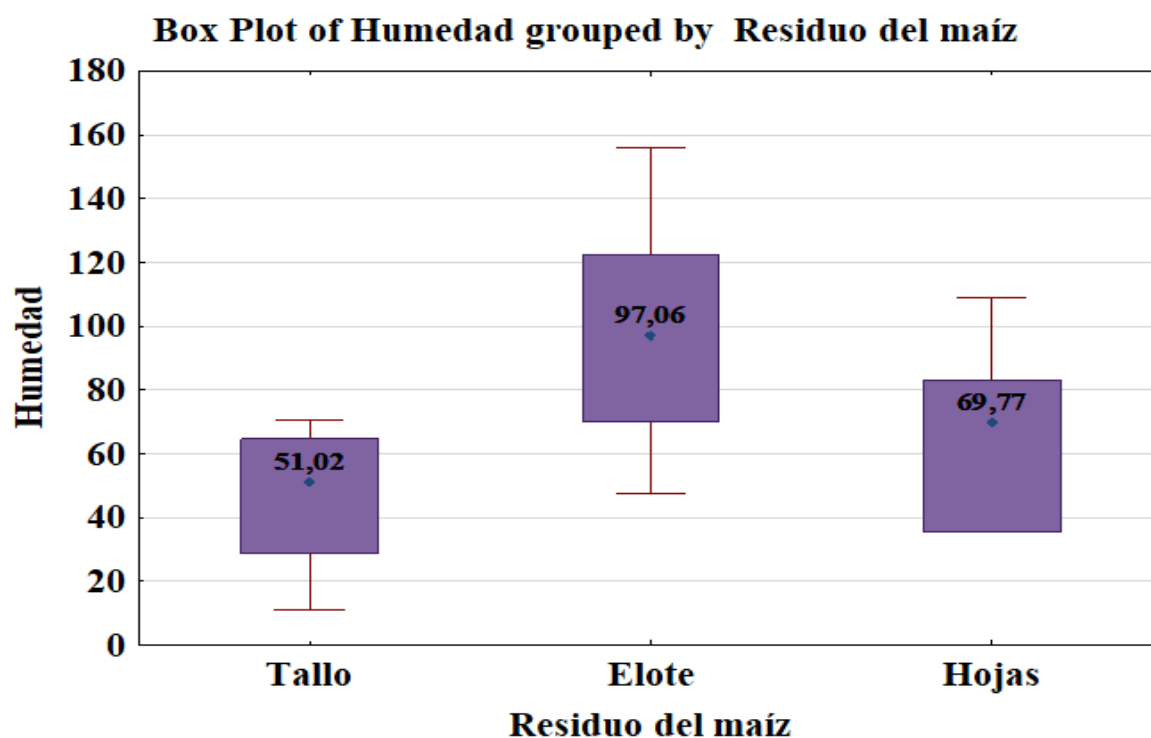
Determinación de humedad

Tabla 20: Resultados de la diferencia entre medias entre el tipo de residuo utilizado de la prueba de significación de Tukey referente a la determinación de humedad

Factor A Residuo del maíz	Humedad
Tallo	46,11
Elote	67,09
Hojas	98,33

Fuente: Rendón A. (2021)

Gráfico 3: Grafico de medias referente al factor A y humedad



Fuente: Rendón A. (2021)

Interpretación: El grafico 3 señaló diferencia significativa entre los valores de humedad con respecto a los tipos de residuos utilizados, 97,06 fue el valor más alto correspondiente al grupo B y 51,02 el valor más bajo correspondiente al grupo A.

Se tomó en cuenta investigaciones similares cuyos valores de humedad son menores a los del cartón obtenido, por ejemplo en la investigación de Bustillos [47] el producto final obtuvo una humedad en un rango de 7% y 15 % de humedad, sin embargo en la investigación de Flor y Huatatoca [38] se obtuvieron valores inferiores a la investigación de Bustillos [47], arrojando un porcentaje de humedad en un rango de 5,71% y 6,42%, se debe tener en cuenta que el valor mínimo de humedad que establece la norma Inen 1397 es del 7% esto difiere con la norma Inen 1396 que establece que el papel o cartón debe tener una humedad relativa inferior al 40 %, pero no por debajo de 10%, con el objeto de evitar los errores debidos a fenómenos de histéresis de la humedad en el estado de equilibrio [54].

El cartón obtenido presentó un alto contenido de humedad, esto se debe al tiempo de recolección de los residuos, en este caso fueron recolectados a los 15 días posterior a la cosecha encontrándose en un estado semi seco por tal razón el contenido de humedad está relacionado con la madurez de la planta, no hay que olvidar que en la producción de papel es importante que las fuentes de fibra dispongan con un alto contenido de celulosa y un bajo porcentaje de lignina, extraíbles y humedad con la finalidad de obtener un papel de buena calidad, como sucede con las materias primas maderables que tienen aproximadamente de 6 a 11% de humedad [55].

Los resultados obtenidos difieren porque de acuerdo con la investigación realizada por González Velandia, Krystle Danitza; Daza Rey, Dayra; Caballero Amado, Paola Andrea; Martínez González, Chadae [56] cada residuo tiene un comportamiento específico y que, además de considerar el contenido de celulosa, es indispensable considerar otras propiedades y por tal motivo es de suma importancia caracterizar física y químicamente los residuos para conocer su potencial y porque de estas características depende el proceso productivo.

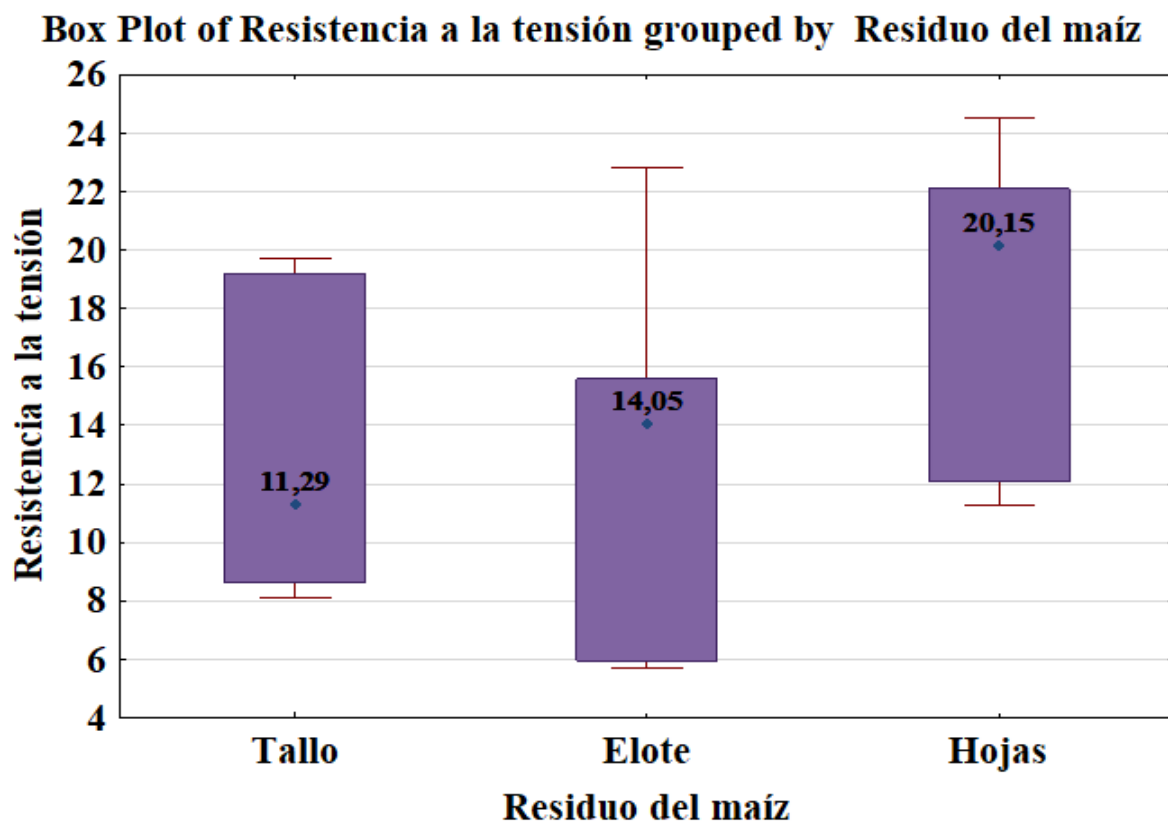
Resistencia a la tensión

Tabla 21: Resultados de la diferencia entre medias entre el tipo de residuo utilizado de la prueba de significación de Tukey referente a resistencia a la tensión

Factor A Residuo del maíz	Resistencia a la Tensión
Tallo	13,03
Elote	13,04
Hojas	18,38

Fuente: Rendón A. (2021)

Gráfico 4: Grafico de medias referente al factor A y resistencia a la tensión



Fuente: Rendón A. (2021)

Interpretación: El grafico 4 no evidenció diferencia significativa entre los valores de resistencia a la tensión con respecto a los tipos de residuos utilizados, mostrándose estadísticamente iguales por pertenecer todos los valores al grupo A.

Para el ensayo de resistencia a la tracción o tensión, también conocido como tensil con respecto al factor A los resultados arrojados se encuentran en un rango entre 11,29lbf y 20,15lbf, siendo 1,8 Kn/m el valor establecido de acuerdo con las normas ISO 19242 según la investigación realizada por Flor y Huatatoca [38].

El cartón obtenido cumple con lo establecido en la normativa demostrando que posee una resistencia a la tracción superior al valor señalado, cabe recalcar que dichos valores también se encuentran dentro los parámetros establecidos por la Norma TAPPI 494 om-88 y en comparación con el cartón obtenido en la investigación Flor y Huatatoca [38] este presenta mayor resistencia, este factor está influenciado por el tiempo de secado del producto final, la humedad del desecho utilizado, la cantidad de celulosa, también tiene mucho que ver la forma en la que se encuentra la dirección de fibra, [56].

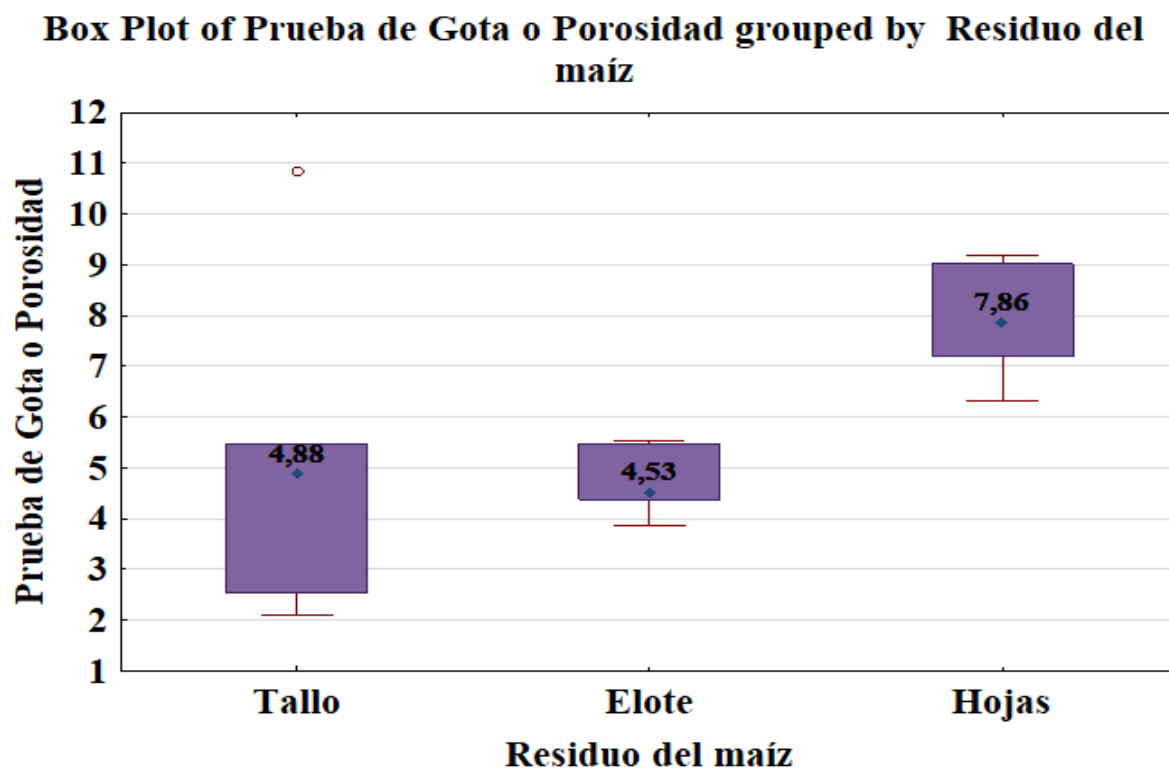
Prueba de Gota de agua o Porosidad

Tabla 22: Resultados de la diferencia entre medias entre el tipo de residuo utilizado de la prueba de significación de Tukey referente a la porosidad

Factor A Residuo del maíz	Porosidad
Tallo	4,72
Elote	5,11
Hojas	7,91

Fuente: Rendón A. (2021)

Gráfico 5: Grafico de medias referente al factor A y prueba de gota o porosidad



Fuente: Rendón A. (2021)

Interpretación: El grafico 5 no mostró diferencia significativa entre los valores de prueba de la gota o porosidad con respecto a los tipos de residuos utilizados, estadísticamente se clasificaron como iguales por pertenecer todos los valores al grupo A.

Respecto a la prueba de porosidad o prueba de gota está relacionado con la fibra utilizada y capacidad de absorción del producto final, se pudo evidenciar que el elote a₁ (4,53 s) tiene capacidad de absorción mayor mientras que el cartón elaborado con hojas a₂ (7,86) demuestra tener un poder de absorción más tardío, esto probablemente se debe a la unión que se da entre las fibras ya que la hoja presenta una estructura más compacta que impiden la penetración inmediata del agua [47].

El cartón obtenido está en el rango de lo establecido para la Norma Inen 1407 a pesar del alto contenido de humedad que afecta las características físico, químicas y mecánicas, por esto es importante determinar mediante caracterización físico química la composición de residuo para así determinar su factibilidad, aunque está demostrado que para obtener un buen cartón se requieren procesos químicos más complejos la cantidad de lignina presente en la materia prima genera controversia porque algunos autores determinan que esta no afecta la calidad del cartón y otros difieren que es un factor determinante para la formación y moldeo de la pulpa ya que esta necesita unirse y compactarse correctamente, por eso la porosidad también depende de cuan compacta esté la fibra [55], [57] [56].

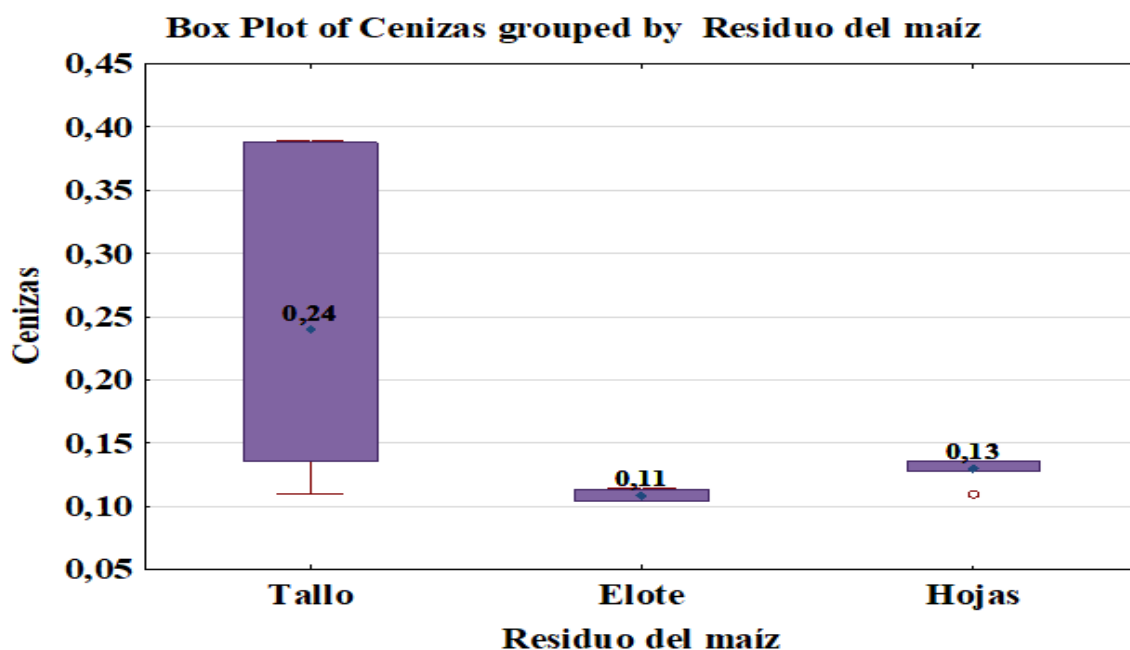
Determinación de cenizas

Tabla 23: Resultados de la diferencia entre medias entre el tipo de residuo utilizado de la prueba de significación de Tukey referente a Determinación de cenizas

Factor A Residuo del maíz	Cenizas
Tallo	0,11
Elote	0,13
Hojas	0,25

Fuente: Rendón A. (2021)

Gráfico 6: Grafico de medias referente al factor A y determinación de cenizas



Fuente: Rendón A. (2021)

Interpretación: El grafico 6 demostró diferencia significativa entre los valores de determinación de cenizas con respecto a los tipos de residuos utilizados, 0,24 fue el valor más alto correspondiente al grupo B y 0,11 el valor más bajo correspondiente al grupo A.

Para la determinación de cenizas con respecto al factor a se obtuvo un rango entre 0,13 a 0,24 g, indicado en las normas TAPPI T 211 para la determinación de cenizas el rango establecido es de al máximo 1% esta representa el contenido de relleno en el papel [57].

Es una propiedad poco importante del papel, algunos tipos de papeles como los papeles de filtro no contienen cenizas y otros como el papel de cigarrillos, tienen cierto nivel de carga para controlar la velocidad de combustión del cigarrillo [45]. El porcentaje de sílice (SiO_2) también afecta en la cantidad de cenizas, de acuerdo con los resultados el cartón obtenido presenta baja cantidad de cenizas porque es probable que la cantidad de sílice sea mínima, cabe recalcar que la sílice causa problemas en la elaboración y en la calidad del papel [44].

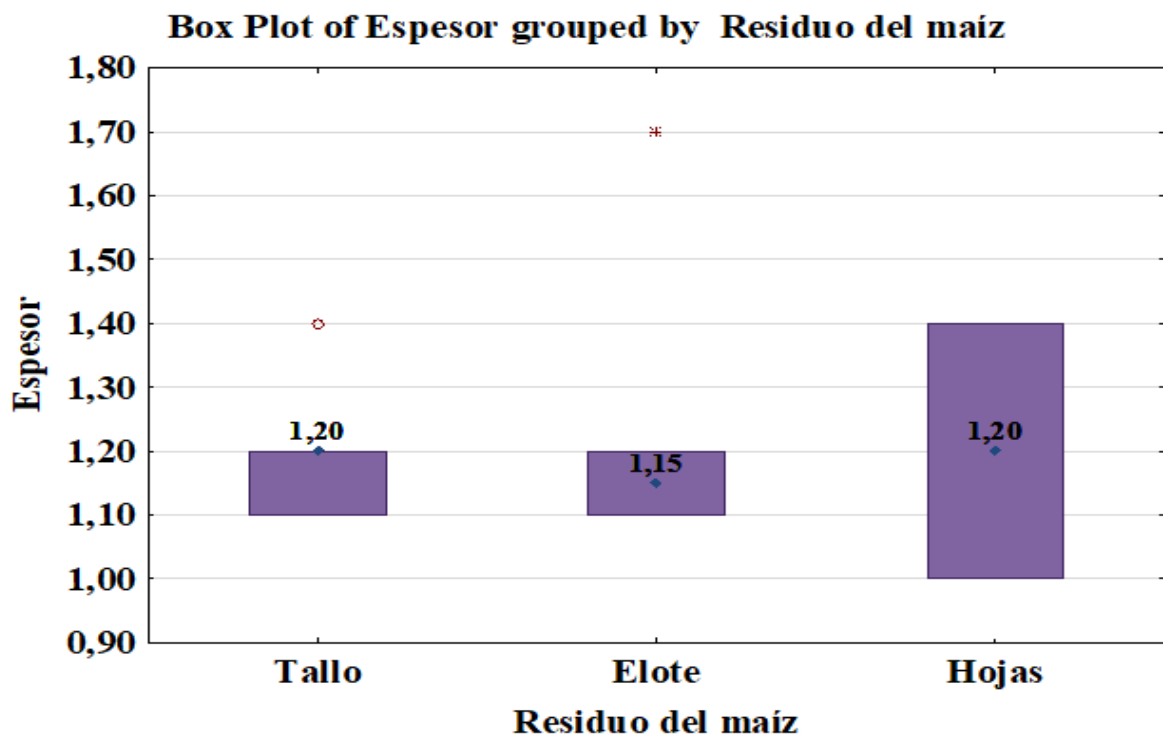
Determinación de espesor

Tabla 24: Resultados de la diferencia entre medias entre el tipo de residuo utilizado de la prueba de significación de Tukey referente a determinación de espesor

Factor A Residuo del maíz	Espesor
Tallo	1,20
Elote	1,20
Hojas	1,23

Fuente: Rendón A. (2021)

Gráfico 7: Grafico de medias referente al factor A y determinación de espesor



Fuente: Rendón A. (2021)

Interpretación: El grafico 7 no señaló diferencia significativa entre los valores de determinación de espesor con respecto a los tipos de residuos utilizados, estos fueron clasificados como estadísticamente iguales por pertenecer todos los valores al grupo A.

El espesor del cartón obtenido en comparación con la investigación de Bustillos [47] es inferior sin embargo Bustillos afirma que, de acuerdo con la investigación de Reyna M. Leoncio, Robles C. Roberto, Toyohama A. Lucia y Canales G. Van [58] Elaboración de cartón a partir de papel reciclado, se presentan valores desde 0,20mm hasta 2,40 mm de espesor en el cartón que obtuvieron a base de papel bond reciclado donde se observa una notoria diferencia de los valores que señala en su investigación.

Es por esto que se busca eliminar al máximo posible todos esos componentes no celulósicos que puedan interferir en la calidad del papel, como la lignina y las sustancias extraíbles, que por sus propiedades químicas conceden una tonalidad oscura al producto final, por eso es determinante conocer la composición de los residuos para así determinar si este permitirá obtener un buen rendimiento de pulpa celulósica, también es importante saber si cuenta con el contenido de humedad apropiado y así establecer la incidencia que este tendrá en las características físicas tales como el espesor, gramaje, etc. [55].

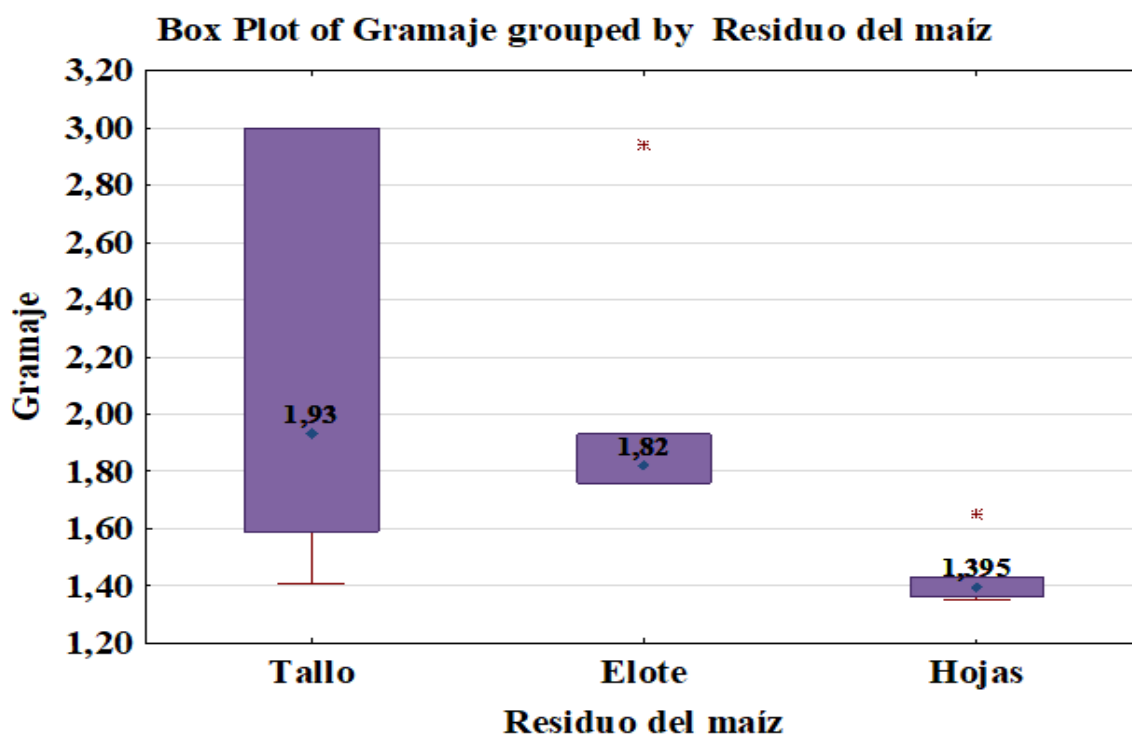
Determinación de gramaje

Tabla 25: Resultados de la diferencia entre medias entre el tipo de residuo utilizado de la prueba de significación de Tukey referente a determinación de espesor

Factor A Residuo del maíz	Gramaje
Tallo	1,43
Elote	2,01
Hojas	2,14

Fuente: Rendón A. (2021)

Gráfico 8: Grafico de medias referente al factor A y determinación de gramaje



Fuente: Rendón A. (2021)

Interpretación: El grafico 8 demostró diferencia significativa entre los valores de determinación de gramaje con respecto a los tipos de residuos utilizados, 1,93 fue el valor más alto correspondiente al grupo B y 1,39 el valor más bajo correspondiente al grupo A.

El gramaje está relacionado con el rendimiento de la pulpa y se establece que cuanto más energético sea el proceso químico y menor sea la proporción de medio químico usado, mayor será el rendimiento de la pulpa que permitirá obtener un cartón con un gramaje apropiado [57].

Según la investigación de Flor y Huatatoca [38], el gramaje debe encontrarse entre un rango de 40 y 350 g/m² de acuerdo con lo establecido en la norma Inen 1398, esta investigación presenta un gramaje similar a lo establecido en las normas Inen 1398 y presenta un gramaje mayor al gramaje obtenido del papel artesanal elaborado con cascaras de plátano y tallo de maíz de la investigación de Flor y Huatatoca [38]. Por eso es indispensable considerar la proporción de medio químico utilizado si bien es cierto que al 5% la cocción y ablandamiento es demorado esta cantidad permite obtener un mayor rendimiento de pulpa [38].

4.1.3. Resultados de la prueba de significación con respecto a la influencia de los métodos de obtención del material celulósico en las características físico-mecánicas del producto final proveniente de subproductos agroindustriales derivados del maíz (*Zea mays*).

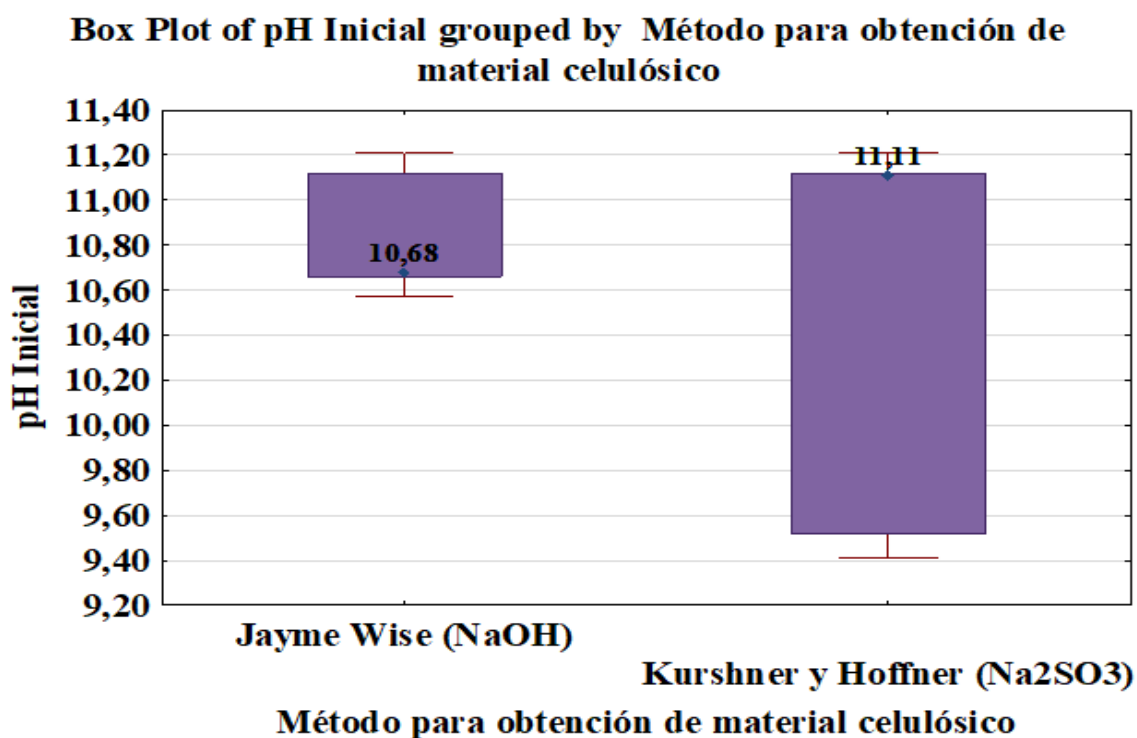
Resultados referentes al licor de cocción

Tabla 26: Resultados de la diferencia entre medias entre método para obtención de material celulósico de la prueba de significación de Tukey referente a pH inicial

Factor B Método para obtención de material celulósico	pH inicial
Jayme Wise (NaOH)	10,04
Kurshner y Hoffner (Na ₂ SO ₃)	10,94

Fuente: Rendón A. (2021)

Gráfico 9: Grafico de medias referente al factor B y pH inicial



Fuente: Rendón A. (2021)

Interpretación: El grafico 9 señaló diferencia significativa entre los valores de pH inicial con respecto al método para obtención de pulpa celulósica, 11,11 fue el valor más alto correspondiente al grupo B y 10,68 el valor más bajo correspondiente al grupo A.

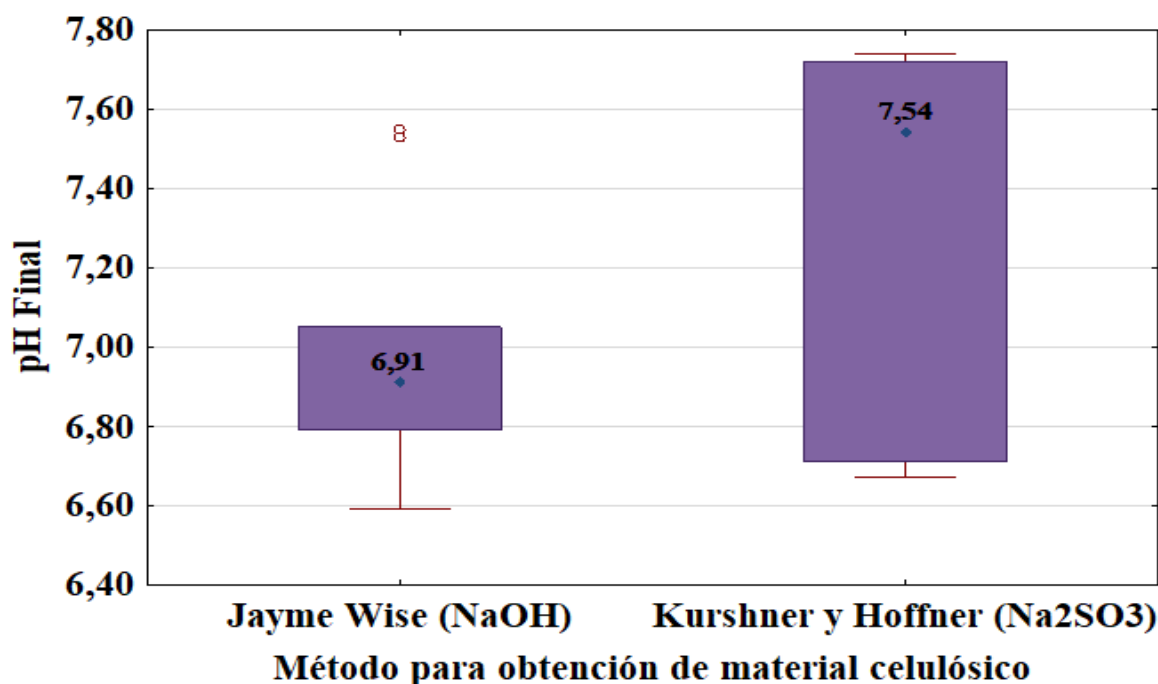
Tabla 27: Resultados de la diferencia entre medias entre método para obtención de material celulósico de la prueba de significación de Tukey referente a pH final

Factor B Método para obtención de material celulósico	pH final
Jayme Wise (NaOH)	7,00
Kurshner y Hoffner (Na ₂ SO ₃)	7,32

Fuente: Rendón A. (2021)

Gráfico 10: Grafico de medias referente al factor B y pH final

Box Plot of pH Final grouped by Método para obtención de material celulósico



Fuente: Rendón A. (2021)

Interpretación: El grafico 10 evidenció diferencia significativa entre los valores de pH final con respecto al método para obtención de pulpa celulósica, 7,54 fue el valor más alto correspondiente al grupo B y 6,91 el valor más bajo correspondiente al grupo A.

Condori [59] redactó que el pH máximo del licor de cocción debe estar en un rango de 9, Domínguez [60] redactó que el pH se pudo determinar el mayor valor se presenta al usar una concentración de (NaOH) al 0,5 normal el cual fue de (6,98), mientras que el valor más bajo se presenta al utilizar dos concentraciones de (NaOH) siendo este (6,20) , los resultados de esta investigación no estuvieron muy alejados de aquellos que Domínguez evidenció, tampoco superaron el rango establecido por Condori. Por lo tanto, la cantidad de medio químico si influye en el resultado del pH.

Resultados referentes al producto final

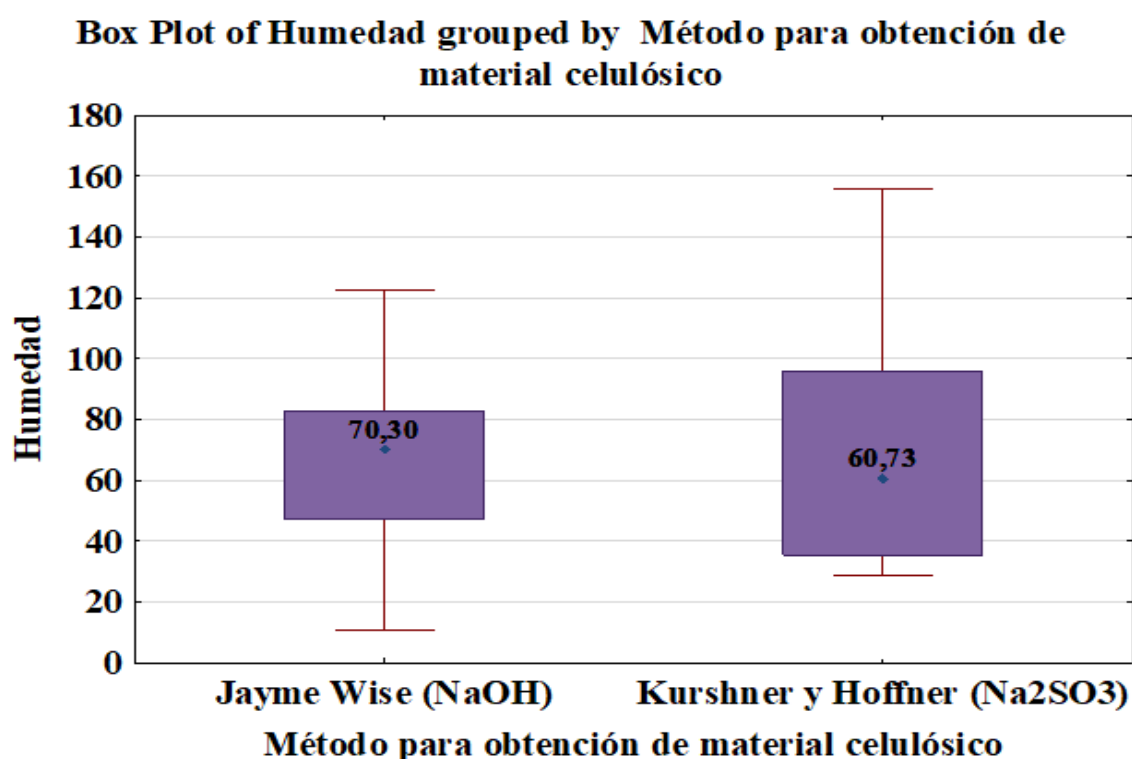
Determinación de humedad

Tabla 28: Resultados de la diferencia entre medias entre método para obtención de material celulósico de la prueba de significación de Tukey referente a determinación de humedad

Factor B Método para obtención de material celulósico	Humedad
Jayme Wise (NaOH)	70,45
Kurshner y Hoffner (Na ₂ SO ₃)	70,57

Fuente: Rendón A. (2021)

Gráfico 11: Grafico de medias referente al factor B y humedad



Fuente: Rendón A. (2021)

Interpretación: El grafico 11 no mostró diferencia significativa entre los valores de humedad con respecto al método para obtención de pulpa celulósica, estos se evidenciaron estadísticamente iguales por pertenecer todos los valores al grupo A.

Condori [59] estableció en su investigación que la humedad el papel Kraft oscila en un 8% máximo, Flor y Huatatoca [38] afirman que la humedad en un papel Kraft medio se rige en un valor de 8,5, Domínguez [60] demostró en su investigación que con una concentración de (NaOH) al 1 normal se presentó la mayor humedad (18,51%), mientras que la humedad más baja se presentó con una concentración de (NaOH) al 0,5 normal (11,25%).

Como en esta investigación no se realizó un secado previo de la materia prima utilizada es probable que haya afectado la cantidad de humedad del producto final ya que de acuerdo con los resultados establecido el medio químico empleado no influye en el porcentaje de humedad obtenido en el producto final.

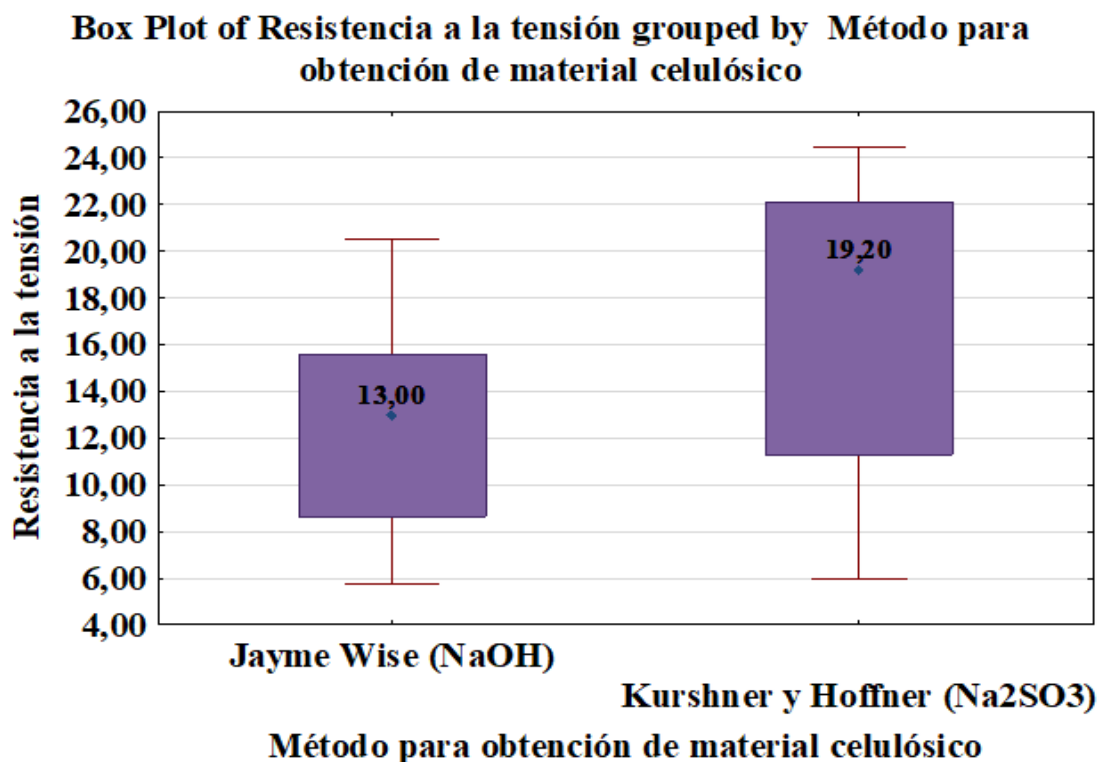
Resistencia a la tensión

Tabla 29: Resultados de la diferencia entre medias entre método para obtención de material celulósico de la prueba de significación de Tukey referente a resistencia a la tensión

Factor B Método para obtención de material celulósico	Resistencia a la tensión
Jayme Wise (NaOH)	13,01
Kurshner y Hoffner (Na ₂ SO ₃)	16,63

Fuente: Rendón A. (2021)

Gráfico 12: Grafico de medias referente al factor B y resistencia a la tensión



Fuente: Rendón A. (2021)

Interpretación: El grafico 12 no señaló diferencia significativa entre los valores de resistencia a la tensión con respecto al método para obtención de pulpa celulósica demostrando que estos son estadísticamente iguales por pertenecer todos los valores al grupo A.

Condori [59] especificó en su investigación que los parámetros técnicos para el papel glassine siliconado obtenido con sulfato, sulfito o hidróxido deben presentar una resistencia a la tensión de 2.8 kN/m. En la investigación Chiluiza y Hernández de [61] en donde se realizó pulpa a la sosa y pulpa al sulfito los resultados del ensayo fueron de 1 (2.2046 lbf) a 1,3 kgf (2.866 lbf) en dirección de maquina y de 0,9 (1.9842 lbf) a 1,1 kgf (2.4251 lbf) en dirección transversal, que evidentemente no suponen una gran resistencia a la tensión.

Los resultados arrojados en esta investigación fueron alentadores ya que presentaron valores altos y demostraron que independientemente del medio químico que se utilice la resistencia a la tensión no se verá influenciada por este factor. Sin embargo, en comparación con la investigación de Escoto; Fernández; Esquivel; Rodríguez; Vargas [62] que evidenciaron una resistencia a la tensión de 77.5 Nm/g (56.7923 lb·ft) para el papel elaborado con paja de trigo y ricino a la sosa los resultados del papel cartón proveniente de residuos del maíz presentaron una resistencia a la tensión inferior.

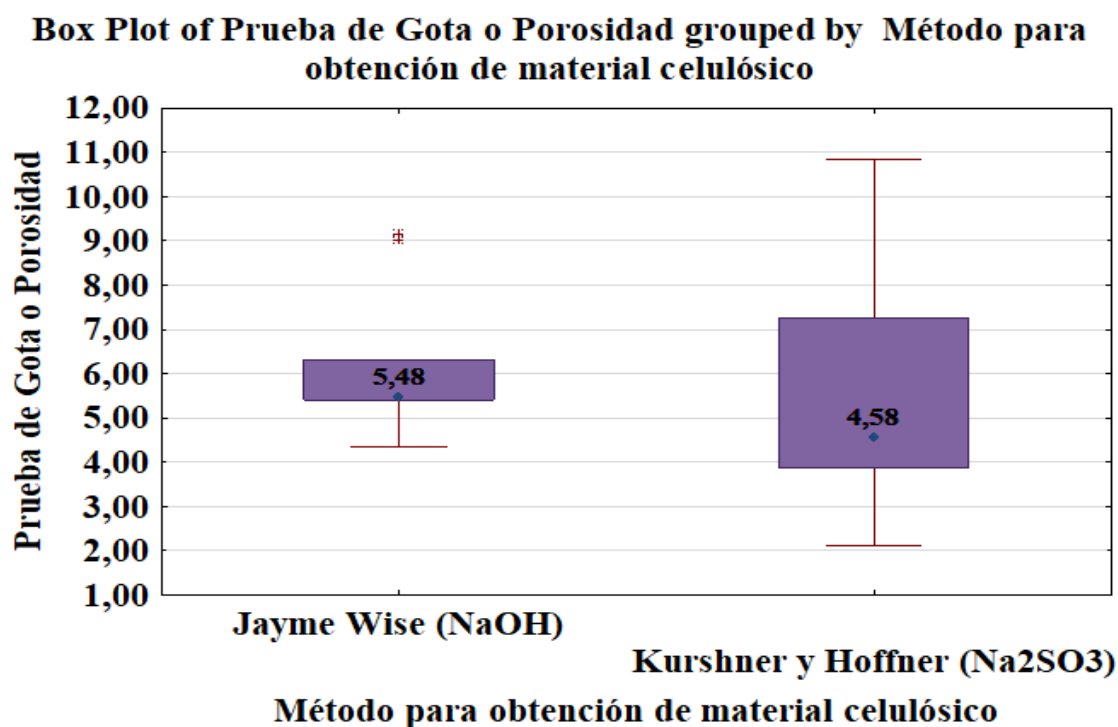
Prueba de Gota de agua o Porosidad

Tabla 30: Resultados de la diferencia entre medias entre método para obtención de material celulósico de la prueba de significación de Tukey referente a Porosidad

Factor B Método para obtención de material celulósico	Porosidad
Jayme Wise (NaOH)	5,69
Kurshner y Hoffner (Na ₂ SO ₃)	6,13

Fuente: Rendón A. (2021)

Gráfico 13: Grafico de medias referente al factor B y Prueba de Gota o Porosidad



Fuente: Rendón A. (2021)

Interpretación: El grafico 13 no mostró diferencia significativa entre los valores de prueba de gota o porosidad con respecto al método para obtención de pulpa celulósica, estos se mostraron estadísticamente iguales por pertenecer todos los valores al grupo A

Los valores que se obtuvieron de la porosidad en la investigación de Flor y Huatatoca el papel más poroso con 17.97 % y menos poroso el papel artesanal de 24.14%, la porosidad varía de acuerdo con los diferentes métodos que se utilizaron en dicha investigación, ambos papeles derivan de una pulpa celulósica obtenida a partir de NaOH, también utilizaron Na₂SO₃ en donde los valores arrojados fueron 18,02 y 24,11.

Aunque se utilizaron los mismos métodos de obtención de pulpa celulósica variaron las materias primas elegidas, por tal razón los resultados difieren, en el caso de esta investigación se demostró que el método utilizado no influye en el producto final y sus características, arrojando una porosidad que oscila a entre 5,48 y 4,58 relativamente baja en comparación a la investigación ya mencionada.

En la investigación de Pintor [63] realizó papel mediante pulpeo Kraft los resultados de porosidad fueron 1,800 segundos el valor más bajo y 0,24 el más bajo. Se pudo evidenciar que esta variable cambia de acuerdo con el tipo de materia prima utilizada y no por el método utilizado para obtener la pulpa celulósica.

Determinación de cenizas

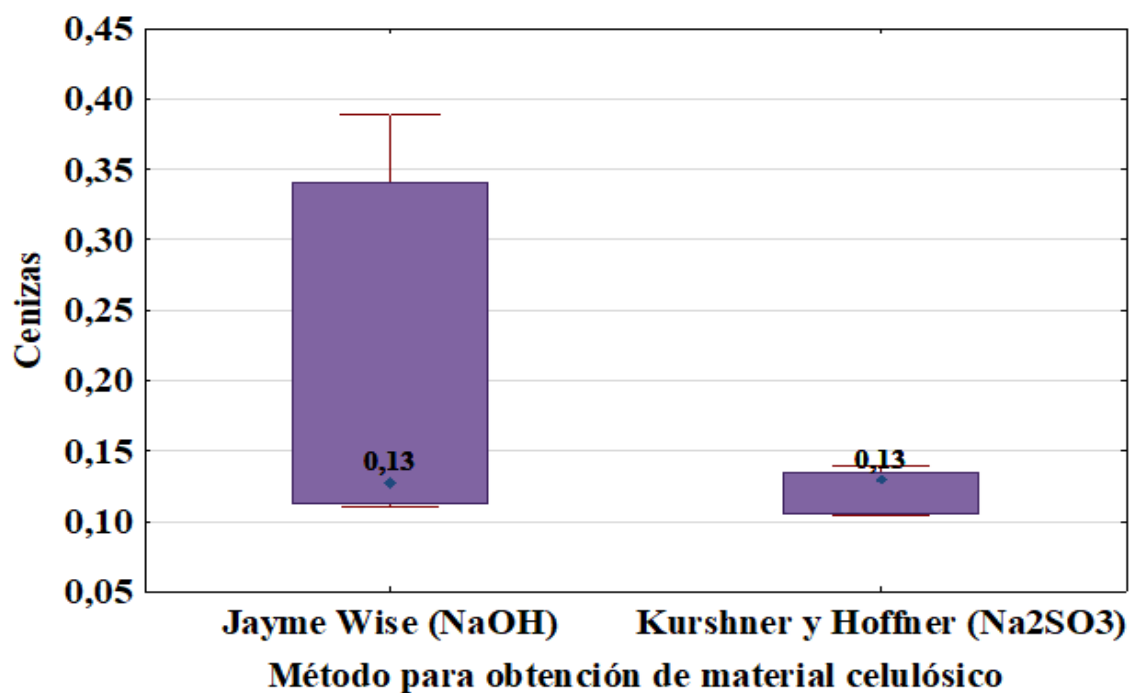
Tabla 31: Resultados de la diferencia entre medias entre método para obtención de material celulósico de la prueba de significación de Tukey referente determinación de cenizas

Factor B Método para obtención de material celulósico	Cenizas
Jayme Wise (NaOH)	0,12
Kurshner y Hoffner (Na ₂ SO ₃)	0,20

Fuente: Rendón A. (2021)

Gráfico 14: Grafico de medias referente al factor B y determinación de cenizas

Box Plot of Cenizas grouped by Método para obtención de material celulósico



Fuente: Rendón A. (2021)

Interpretación: El grafico 14 no evidenció diferencia significativa entre los valores de determinación de cenizas con respecto al método para obtención de pulpa celulósica, estos estadísticamente se clasificaron iguales por pertenecer todos los valores al grupo A.

En el análisis de cenizas Domínguez [60] observó dos grupos independientes presentándose el mayor valor en el grupo B: siendo este al 1 normal de NaOH con un valor de 2,085 % y el valor más bajo se presentó en el grupo A: al 0,5 normal de NaOH con un valor de 1,895 %., mientras que en esta investigación se observó que la cantidad de cenizas obtenidas presenta como valor más alto el 0,33 g para el método de Jayme Wise.

Estos resultados difieren con la investigación de Flor y Huatatoca [38] en donde se realizó un ablandamiento ya sea con hidróxido y sulfito en donde se obtuvo un porcentaje mínimo de cenizas del 3.22% y un porcentaje máximo del 4.61%.

En esta investigación se demostró que sin importar el medio químico utilizado este no repercutirá en el porcentaje final de cenizas, se debe puntualizar que en las diferentes investigaciones se utilizó diferentes porcentajes de medio químico, por esto los resultados difieren con la presente investigación sin embargo al no existir una normativa para pulpa celulósica obtenida de fibras no leñosas en conjunto de medios químicos ablandadores, no se pueden rechazar los resultados.

Determinación de espesor

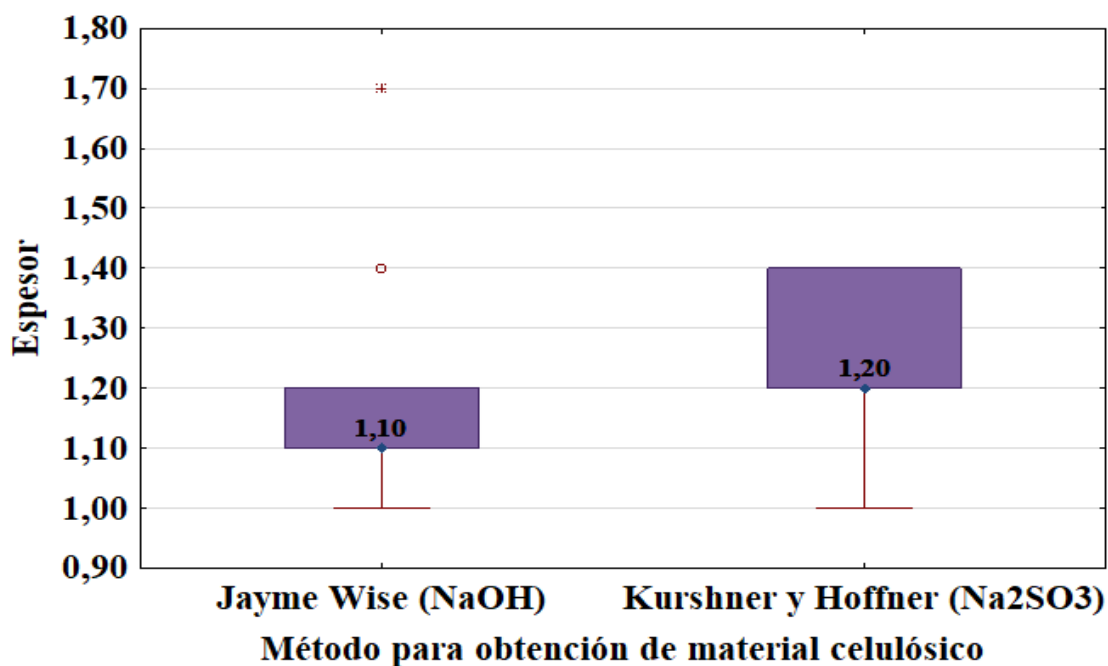
Tabla 32: Resultados de la diferencia entre medias entre método para obtención de material celulósico de la prueba de significación de Tukey referente a determinación de espesor

Factor B Método para obtención de material celulósico	Espesor
Jayme Wise (NaOH)	1,19
Kurshner y Hoffner (Na ₂ SO ₃)	1,23

Fuente: Rendón A. (2021)

Gráfico 15: Grafico de medias referente al factor B y determinación de espesor

Box Plot of Espesor grouped by Método para obtención de material celulósico



Fuente: Rendón A. (2021)

Interpretación: El grafico 15 no señaló diferencia significativa entre los valores de determinación de espesor con respecto al método para obtención de pulpa celulósica, estos estadísticamente se mostraron iguales por pertenecer todos los valores al grupo A.

Condori [59] relata que el espesor ideal de un papel Kraft elaborado con un método químico debe ser 1.8 mm. Fernández [64] afirma que el espesor del papel depende de su peso base, sin embargo, papeles del mismo gramaje pueden tener diferente espesor, dependiendo de su composición fibrosa, la refinación que se le haya dado a la pasta, la compresión a la que haya sido sometida la hoja durante el proceso de fabricación, tanto en el prensado como en el calandrado y la porosidad.

Mackencie [41] obtuvo un espesor con valores de 0,85 mm a 2.36 mm en el producto final en donde la pulpa celulósica fue obtenida a partir NaOH. Estos resultados difieren con el papel cartón obtenido en esta investigación ya que ambos medios químicos no presentan diferencia significativa demostrando que estos no influyen en esta característica física.

Determinación de gramaje

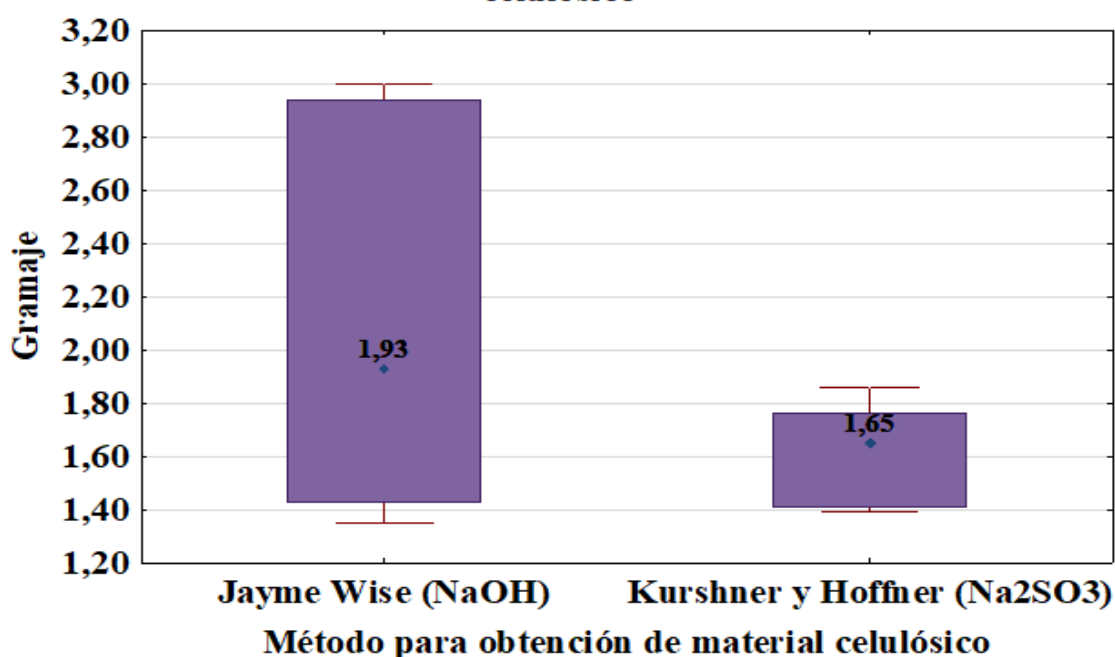
Tabla 33: Resultados de la diferencia entre medias entre método para obtención de material celulósico de la prueba de significación de Tukey referente a determinación de gramaje

Factor B Método para obtención de material celulósico	Gramaje
Jayme Wise (NaOH)	1,62
Kurshner y Hoffner (Na ₂ SO ₃)	2,10

Fuente: Rendón A. (2021)

Gráfico 16: Grafico de medias referente al factor B y determinación de gramaje

Box Plot of Gramaje grouped by Método para obtención de material celulósico



Fuente: Rendón A. (2021)

Interpretación: El grafico 16 muestra diferencia significativa entre los valores de determinación de gramaje con respecto al método para obtención de pulpa celulósica, 1,93 fue el valor más alto correspondiente al grupo B y 1,65 el valor más bajo correspondiente al grupo A.

Condori [59] estableció en su investigación que el gramaje máximo del papel debe ser 79g/m², al utilizar sulfato, sulfito o hidróxido, mientras que Araujo [65] establece que el gramaje determinado según se describe en la norma ISO 536, deberá ser de 70 g/m² ya sea que este fuera obtenido por un pulpeo mixto o químico. Estos resultados difieren con la presente investigación debido a que el papel realizado fue de forma artesanal y se realizó un moldeo en bastidores de 20x25 cm en donde de acuerdo con el rendimiento de la pulpa celulósica proporcionada por los diferentes tipos de residuos se pudo obtener cierta cantidad de hojas.

4.1.4. Determinación del rendimiento que se obtiene en el proceso de obtención de cartón a partir de residuos del maíz, utilizando la fórmula de rendimientos para productos

Ecuación 1: Formula del rendimiento

$$Rendimiento = \frac{Rendimiento\ real}{Rendimiento\ teorico} \times 100\%$$

Rendimiento del producto final obtenido a partir de tallo por el método de Wise

Rendimiento de la materia prima Tallo ablandado por el método de Wise

Ecuación 2: Rendimiento del tallo ablandado con NaOH

$$Rendimiento = \frac{800g}{1000g} \times 100\% = 80\%$$

Rendimiento de la pulpa celulósica a partir de Tallo ablandado por el método de Wise

Ecuación 3: Rendimiento de pulpa celulósica a partir de tallo obtenida con NaOH

$$Rendimiento = \frac{2404g}{2604g} \times 100\% = 92,31\%$$

Interpretación: De acuerdo con los resultados del rendimiento del tallo ablandado con NaOH se obtuvo un porcentaje del 80% después de haber retirado los trozos de tallo no cocidos correctamente, esto demostró que la cantidad inicial de materia prima que se utilizó arrojó un 20% de desperdicio. En la pulpa celulósica obtenida a partir de tallo ablandado con NaOH el rendimiento fue de un 92,31% esto evidenció que es factible utilizar 1kg de tallo porque permitió obtener una gran cantidad de pulpa celulósica para crear las hojas de cartón, cabe recalcar que la cantidad de hojas obtenidas fueron 12 hojas con un gramaje correspondiente a 20g cada una con medidas correspondientes a 20x25 cm₂ lo que mostró un resultado final de 40g por cada hoja de cartón.

Rendimiento obtenido del producto final obtenido a partir del tallo por el método de Kurshner y Hoffner

Rendimiento de la materia prima Tallo ablandado por el método de Kushner y Hoffner

Ecuación 4: Rendimiento del tallo ablandado con Na_2SO_3

$$\text{Rendimiento} = \frac{890g}{1000g} \times 100\% = 89\%$$

Rendimiento de la pulpa celulósica a partir de tallo ablandado por el método de Kushner y Hoffner

Ecuación 5: Rendimiento de pulpa celulósica a partir de tallo obtenida con Na_2SO_3

$$\text{Rendimiento} = \frac{2223g}{2603g} \times 100\% = 85,40\%$$

Interpretación: En los resultados arrojados del rendimiento del tallo ablandado con Na_2SO_3 se obtuvo un porcentaje del 89% después de haber retirado los trozos de tallo no cocidos correctamente, esto demostró que la cantidad inicial de materia prima que se utilizó arrojó un 11% de desperdicio. En la pulpa celulósica obtenida a partir de tallo ablandado con Na_2SO_3 el rendimiento fue de un 85,40% esto evidenció que es factible utilizar 1kg de tallo porque permitió obtener una gran cantidad de pulpa celulósica para crear las hojas de cartón, la cantidad de hojas obtenidas fueron 11 hojas con un gramaje correspondiente a 22g cada una con medidas correspondientes a 20x25 cm² lo que mostró un resultado final de 44g por cada hoja de cartón.

Rendimiento del producto final obtenido a partir de elote por el método de Wise

Rendimiento de la materia prima Elote ablandado por el método de Wise

Ecuación 6: Rendimiento del elote ablandado con NaOH

$$\text{Rendimiento} = \frac{890g}{1000g} \times 100\% = 89\%$$

Rendimiento de la pulpa celulósica a partir de Elote ablandado por el método de Wise

Ecuación 7: Rendimiento de pulpa celulósica a partir de elote obtenida con NaOH

$$Rendimiento = \frac{1150g}{1400g} \times 100\% = 82,14 \%$$

Interpretación: De acuerdo con los resultados arrojados sobre el rendimiento del elote ablandado con NaOH se obtuvo un porcentaje del 89% después de haber retirado los trozos de elote no cocidos correctamente, esto demostró que la cantidad inicial de materia prima que se utilizó arrojó un 11% de desperdicio. En cuanto a la pulpa celulósica obtenida a partir de tallo ablandado con NaOH el rendimiento fue de un 82,14% esto evidenció que es factible utilizar 1kg de elote porque permitió obtener una gran cantidad de pulpa celulósica para crear las hojas de cartón, la cantidad de hojas obtenidas fueron 8 hojas con un gramaje correspondiente a 37g cada una con medidas correspondientes a 20x25 cm² lo que mostró un resultado final de 74g por cada hoja de cartón.

Rendimiento obtenido del producto final obtenido a partir del elote por el método de Kurshner y Hoffner

Rendimiento de la pulpa celulósica a partir de Elote ablandado por el método de Kushner y Hoffner

Ecuación 8: Rendimiento del elote ablandado con Na₂SO₃

$$Rendimiento = \frac{800g}{1000g} \times 100\% = 80\%$$

Rendimiento de la pulpa celulósica a partir de Elote ablandado por el método de Kushner y Hoffner

Ecuación 9: Rendimiento de pulpa celulósica a partir de elote obtenida con Na₂SO₃

$$Rendimiento = \frac{1230g}{1410g} \times 100\% = 87,23 \%$$

Interpretación: En los resultados arrojados sobre el rendimiento del elote ablandado con Na_2SO_3 se obtuvo un porcentaje del 80% después de haber retirado los trozos de elote no cocidos correctamente, esto demostró que la cantidad inicial de materia prima que se utilizó arrojó un 20% de desperdicio. En cuanto a la pulpa celulósica obtenida a partir de elote ablandado con Na_2SO_3 el rendimiento fue de un 87,23% esto evidenció que es factible utilizar 1kg de elote porque permitió obtener una gran cantidad de pulpa celulósica para crear las hojas de cartón, la cantidad de hojas obtenidas fueron 6 hojas con un gramaje correspondiente a 41g cada una con medidas correspondientes a $20 \times 25 \text{ cm}_2$ lo que mostró un resultado final de 82g por cada hoja de cartón.

Rendimiento del producto final obtenido a partir de hojas por el método de Wise

Rendimiento de la materia prima Hojas ablandadas por el método de Wise

Ecuación 10: Rendimiento de hojas ablandadas con NaOH

$$\text{Rendimiento} = \frac{900g}{1000g} \times 100\% = 90\%$$

Rendimiento de la pulpa celulósica a partir de Hojas ablandadas por el método de Wise

Ecuación 11: Rendimiento de pulpa celulósica a partir de hojas obtenida con NaOH

$$\text{Rendimiento} = \frac{1840g}{2090g} \times 100\% = 88,03 \%$$

Interpretación: De acuerdo con los resultados arrojados en cuanto al rendimiento de hojas ablandadas con NaOH se obtuvo un porcentaje del 90% después de haber retirado los trozos de hojas no cocidos correctamente, esto demostró que la cantidad inicial de materia prima que se utilizó arrojó un 10% de desperdicio. En cuanto a la pulpa celulósica obtenida a partir de hojas ablandadas con NaOH el rendimiento fue de un 88,03% esto evidenció que es factible utilizar 1kg de hojas porque permitió obtener una gran cantidad de pulpa celulósica para crear las hojas de cartón, la cantidad de hojas obtenidas fueron 8 hojas con un gramaje correspondiente a 30g cada una con medidas correspondientes a $20 \times 25 \text{ cm}_2$ lo que señaló un resultado final de 60g por cada hoja de cartón.

Rendimiento obtenido del producto final obtenido a partir de hojas por el método de Kurshner y Hoffner

Rendimiento de la pulpa celulósica a partir de Hojas ablandadas por el método de Kushner y Hoffner

Ecuación 12: Rendimiento de hojas ablandadas con Na₂SO₃

$$\text{Rendimiento} = \frac{850g}{1000g} \times 100\% = 85 \%$$

Rendimiento de la pulpa celulósica a partir de Hojas ablandadas por el método de Kushner y Hoffner

Ecuación 13: Rendimiento de pulpa celulósica a partir de hojas obtenida con Na₂SO₃

$$\text{Rendimiento} = \frac{1598g}{1803g} \times 100\% = 88,63 \%$$

Interpretación: De acuerdo con los resultados arrojados sobre el rendimiento de hojas ablandadas con Na₂SO₃ se obtuvo un porcentaje del 85% después de haber retirado los trozos de hojas no cocidos correctamente, esto demostró que la cantidad inicial de materia prima que se utilizó arrojó un 15% de desperdicio. Sobre la pulpa celulósica obtenida a partir de hojas ablandadas con Na₂SO₃ el rendimiento fue de un 88,63% esto evidenció que es factible utilizar 1kg de hojas porque permitió obtener una gran cantidad de pulpa celulósica para crear las hojas de cartón, la cantidad de hojas obtenidas fueron 7 hojas con un gramaje correspondiente a 35g cada una con medidas correspondientes a 20x25 cm² lo que mostró un resultado final de 70g por cada hoja de cartón.

4.1.5. Resultados de la simulación en el software Flexsim

En la simulación del proceso considerando los tiempos de cocción la materia prima más eficiente fue el tallo ya que este tiene un proceso menos demorado que permitió una mayor producción de cartón, en cuanto al tiempo de secado el cartón realizado de forma artesanal a partir de tallo consiguió un secado al cuarto día a diferencia de los otros residuos que tardaron 6 días en secarse, considerando que a nivel industrial existe una prensa que no solo consigue el moldeo de la pulpa sino también eliminar el agua en exceso por medio de aire caliente se obtuvieron las hojas de cartón de forma casi inmediata. Por lo tanto, si se habla de ahorro de tiempo y energía el tallo fue el residuo más eficaz a nivel industrial, pero si se toma en cuenta el gramaje y otros factores es elote se mostró un poco más competitivo.

4.2. Tratamiento de la hipótesis

De acuerdo con las hipótesis establecidas:

La utilización de diferentes residuos del maíz influye en las características finales del cartón (físicas químicas y mecánicas: pH, humedad, resistencia a la tensión, porosidad, cenizas, espesor, gramaje) por lo tanto se rechaza **H₀**: La utilización de diferentes residuos del maíz no influye en las características finales del cartón (físicas químicas y mecánicas: pH, humedad, resistencia a la tensión, porosidad, cenizas, espesor, gramaje).

La utilización de diferentes métodos de obtención del material celulósico no influye en la optimización del tiempo en la fase de cocción y en las características del producto final por lo tanto se rechaza (físicas químicas y mecánicas: pH, humedad, resistencia a la tensión, porosidad, cenizas, espesor, gramaje) **H_a**: La utilización de diferentes métodos de obtención del material celulósico influye en la optimización del tiempo en la fase de cocción y en las características del producto final (físicas químicas y mecánicas: pH, humedad, resistencia a la tensión, porosidad, cenizas, espesor, gramaje).

V. CAPITULO

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

El factor a si influye en las características del producto final. Se establece que el valor del pH final está influenciado por la acción del medio químico sobre la fibra, para la determinación de humedad ninguna de las materias primas permitió obtener un cartón bajo en humedad, se obtuvieron hojas con un gramaje apropiado siendo el elote la materia prima que proporciono un gramaje mayor.

De acuerdo con los resultados de la determinación de espesor todas las materias primas proporcionaron un buen espesor esto se debe al rendimiento de la pulpa obtenida. Los resultados para la prueba de la gota o porosidad establecieron que el cartón elaborado a partir de hojas tiene un poder de absorción más tardío. Para la determinación de cenizas se determinó que todas las materias primas permitieron obtener un cartón que cuente con la cantidad de cenizas dentro del rango establecido por las normas TAPPI T 211. Para el ensayo de resistencia a la tracción se determinó que todos los cartones elaborados con las diferentes materias primas cumplen con lo establecido en las normas TAPPI 494 om-88.

Las características físicas como, gramaje, porosidad, espesor no se vieron afectadas por el método de obtención para pulpa celulósica, mientras que en humedad sí, para las características químicas pH el método de Wise permitió obtener un cartón con un pH inferior al pH establecido, mientras que para determinación de cenizas todos los valores se encuentran dentro del rango, para resistencia a la tracción los resultados son favorables.

La cocción realizada mediante ambos métodos de obtención de material celulósico fue demorada para la Tusa llegando a un tiempo de cocción de 6 horas indiferentemente del medio químico utilizado, mientras que para las hojas el tiempo de cocción y remojo en el medio químico fue el mismo, estableciendo una cocción de 60 minutos en ambos casos.

Para el tallo se observó que usando el método de Wise la cocción tuvo una duración de 5 horas mientras que para el método de Kushner y Hoffner la cocción tuvo una duración de 6 horas, se observó que para las fibras sometidas a cocción con NaOH la coloración se tornó en matices entre naranja y amarillo mientras que para la cocción en Na₂SO₃ la fibra mostro una coloración verde amarillenta, ambos métodos son eficaces para la obtención de pulpa celulósica y posteriormente para la elaboración de cartón.

Al determinar el rendimiento que se obtiene en el proceso de obtención de cartón a partir de residuos del maíz, utilizando la fórmula de rendimiento de un producto se observó que se obtuvo mayor rendimiento en cuanto la obtención de pulpa celulósica para la pulpa obtenida a partir de tallo por el método de Wise 92,31 %, en el caso del elote se obtuvo mayor rendimiento de la pulpa usando el método de Kurshner y Hoffner alcanzando un porcentaje del 87,23 %, mientras que para las hojas se obtuvo mayor rendimiento de la pulpa mediante el método de Kushner y Hoffner, se concluye que el método más eficaz para la obtención de una mayor cantidad de pulpa celulósica es el método de Kurshner y Hoffner. En cuanto al papel cartón obtenido la materia prima que proporciona mayor gramaje es el Elote que permite obtener una hoja con un gramaje de 82g.

En la simulación del proceso se utilizaron maquinarias industrializadas, considerando el ahorro de energía, tiempo y capacidad de producción se determinó que el tallo es el residuo más conveniente.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda realizar un secado previo de la materia prima antes de ser procesada para así poder obtener un contenido de humedad apropiado en el producto final, teniendo en cuenta que es importante obtener resultados que sean competitivos a los estándares establecidos para el papel y cartón derivado de fibras leñosas.

Se recomienda utilizar un porcentaje mayor al 5% del medio químico ablandador para la cocción de la fibra, debido a que el 5% proporciona una cocción demorada sin embargo se debe tener en cuenta que esto puede afectar el rendimiento de pulpa celulósica.

Es recomendable utilizar materias primas que permitan obtener características fisicoquímicas y mecánicas aceptables por esto se debe realizar una caracterización de la materia prima antes de ser utilizada.

El tiempo de secado ideal supera los seis días por tal motivo es necesario exponer al sol las hojas de cartón hasta que estén totalmente secas.

Para aprovechar mejor la fibra es necesario usar una trituradora antes del licuado para evitar que la pulpa contenga trozos de residuos no triturados.

VI. CAPITULO
BIBLIOGRAFIA

Referencias Bibliográficas

- [1] M. P, M. J.A, V. F, L. J.P y Pérez, «RESIDUOS DE TALLO DE MAÍZ COMO REFUERZO DE POLIPROPILENO,» *Redisa*, 2008.
- [2] P. Mutjé, J. Méndez, F. Vilaseca, J. P. I. López y M. Pèlach, «RESIDUOS DE TALLO DE MAÍZ COMO REFUERZO DE POLIPROPILENO,» *Redisa*, p. 16, 2008.
- [3] J. L. Arvizu, *El cultivo del maiz, temas selectos*, p. 8, 2011.
- [4] G. V. K. Danitza, D. R. Dayra y C. A. P. Andrea, «EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE RESIDUOS SÓLIDOS,» *Revista Luna Azul*, vol. 43, pp. 499-517, Diciembre 2016.
- [5] R. A. L. Ángel y R. A. T. Georgette, «Importancia del maíz en la alimentación del ganado doble propósito en el sur del estado de México,» UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO, 2019.
- [6] N. T. Tapia y K. G. Velazco, «Estudio de la aplicación del olote o tusa de maíz para la reducción del color en aguas residuales de la Hilandería Guijarro cantón Guano,» Riobamba, 2016.
- [7] C. E. M. Rios y E. G. Saavedra, «Determinación de la concentración optima de hidróxido de sodio para la obtención de papel y sus propiedades fisicomecánicas, a partir del raquis del racimo de plátano (*Mussa paradisiaca*),» *nvestigación Universitaria UNU*, vol. 8, nº 2, 2018.
- [8] M. P. Martínez, J. A. Hernández, B. B. Aguilar, H. P. Juárez, J. d. J. V. Radillo y M. R. Urquiza, «Characterization of maize leaves and of sugarcane bagasse to elaborate of a mixed cellulose pulp,» *Scielo*, vol. 18, nº 2012, pp. 37-51, 2012.
- [9] K. H. Z. C. A. V. V. P. J. N. A. y E. R. Carlos Ricardo Delgado Villafuerte, «Efecto en la resistencia de bloques elaborados con agregados de residuos del cultivo de maíz (*Zea mays*),» *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, vol. 2, nº 2, pp. 89-98, 27 Diciembre 2019.

- [10] J. A. M. Aseffe, R. L. Jaén, L. O. O. Ruiz, A. M. González y E. E. S. Lora, «Análisis de ciclo de vida del aprovechamiento energético de los residuos (tusa) de la cosecha de maíz (*Zea mays*) en la provincia de Los Ríos, Ecuador,» *Tecnología Química*, vol. 39, n° 3, 15 Enero 2019.
- [11] G. M. I. Galindo, «Obtención de láminas de almidón de maíz termoplástico reforzadas con fibras de agave y evaluación de algunas de sus propiedades,» 2017.
- [12] C. G. B. Cardoza y H. P. Perea, «El maíz: origen, composición y morfología,» *Materiales Avanzdos UNAM*, n° 7, pp. 15-20, Octubre 2006.
- [13] X. Cervantes, «BIOMASA RESIDUAL DEL CULTIVO DE MAÍZ DURO Y SU POTENCIAL ENERGÉTICO EN EL CANTÓN MOCACHE,» Quevedo, 2014.
- [14] C. G. Coca, «Diseño y técnicas de Packaging,» *Researchgate*, 2015.
- [15] C. F. G. Parga, «TECNOLOGÍA E INFORMATICA,» 2020.
- [16] F. Atabal, «¿Cómo se hace el cartón? Todo sobre su elaboración,» 2019.
- [17] A. M. I. Y. G. A. & B. M. Rendón Pozo, «Análisis De La Problemática Y Enfoque Entorno A La Elaboración De Envases Biodegradables A Partir De Subproductos Del Maíz,» *Revista Ingeniería e Innovación*, vol. 8, n° 2, 2020.
- [18] D. Clay, «Desafíos del manejo de residuos de cultivos: un resumen de un número especial,» *Agronomy Journal*, 2019.
- [19] O. S. Echeverria, «Historia,» *Scielo*, vol. 39, n° 2, Diciembre 2006.
- [20] FAO, «Origin, History, and Uses of Corn (*Zea mays*),» 2014.
- [21] I. S. Ortega, «Maíz I (*Zea mays*),» *Reduca (Biología)*, vol. 7, n° 2, pp. 151-171, 2014.
- [22] A. L. A. R. y C. B. F., «FENOLOGÍA PRODUCTIVA Y NUTRICIONAL DE MAÍZ PARA LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE,» *AGRONOMÍA MESOAMERICANA*, vol. 11, n° 1, pp. 171-177, 2000.
- [23] A. L. Amador y C. B. Figueroa, «Fenología productiva y nutricional de maíz para la producción de forraje,» *Dialnet*, vol. 11, n° 1, 2000.

- [24] E. F. G. Abarca, «CARACTERIZACION AGRO-MORFOLOGICA;MAIZ;ZEA MAYS;SAN JOSE DE CHAZO (LOCALIDAD);GUANO (CANTÓN);CHIMBORAZO (PROVINCIA),» Riobamba, 2014.
- [25] G. C. Escamilla, J. D. I. S. H. S. A. Canto y R. G. Cruz, «Obtención de Celulosa a Partir de los Desechos Agrícolas del Banano,» *Información Tecnológica*, vol. 16, nº 1, pp. 83-88, 2005.
- [26] P. Gañán, R. Zuluaga, C. Castro, A. R. Osorio, J. V. Cock, M. Osorio, Ú. Montoya, L. Vélez, C. Álvarez, C. Correa y C. Molina, «CELULOSA: UN POLÍMERO DE SIEMPRE CON MUCHO FUTURO,» *Revista Colombiana De Materiales*, pp. 01-04, 2017.
- [27] M. C. Sifontes y M. E. Domine, «LIGNINA, ESTRUCTURA Y APLICACIONES: MÉTODOS DE DESPOLIMERIZACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE DERIVADOS AROMÁTICOS DE INTERÉS INDUSTRIAL,» *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portuga*, vol. 4, nº 4, pp. 15-46, 2013.
- [28] S. Ginés, «Descripción y optimización del uso del cartón en envase y embalaje,» Zaragoza, 2017.
- [29] C. E. M. Rios y E. G. Saavedra, «Determinación de la concentración optima de hidróxido de sodio para la obtención de papel y sus propiedades fisicomecanicas, a partir del raquis del racimo de plátano (Mussa paradisiaca),» *Revista de Investigación Universitaria by Universidad Nacional de Ucayali*, vol. 8, nº 2, 2018.
- [30] A. Alimentarios, 2016.
- [31] OIT, «SULFITO DE SODIO,» 2009.
- [32] S. Iglesias y M. Gonzalez, «El papel. Su impacto sobre el medio ambiente,» *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 2004.

- [33] C. Labarca, «ESTUDIO DE LAS CONDICIONES PARA PRODUCIR INDUSTRIALMENTE ENVASES PLÁSTICOS A PARTIR DE MATERIALES COMPOSTABLES,» Santiago de Chile, 2012.
- [34] V. B. a. O. Yaschenko, «Preparation, Properties and Use of Nanocellulose from Non-Wood Plant Materials,» *IntechOpen*, 27 Octubre 2020.
- [35] F. Baldi, «Il processo di produzione delle paste chimiche e il loro trattamento,» Verona, 2000.
- [36] J. Mejía, «Panorama de la industria de celulosa y de papel en Iberoamerica,» 2008.
- [37] M. C. y. J. Miranda, «Estudio de factibilidad para una planta procesadora de papel y cartón reciclado, en la ciudad de Azogues,» Cuenca, 2012.
- [38] F. P. Flor y L. S. A. Huatatoca, «Elaboración del Papel Artesanal a Base de los Residuos Vegetales de los Tallos de Maíz (*Zea Mays L*) y Cáscaras de Platano (*Musa Paradisiaca L*) Utilizando los Métodos Químicos de Jayme-Wise, Kurshner Y Hoffner,» Riobamba, 2020.
- [39] Y. Y. C. Tarrillo, «Utilización de la corona de piña (*Ananas comosus*) para la elaboración de papel ecológico artesanal, Chiclayo,» Chiclayo, 2020.
- [40] M. J. G. Guerrero, M. A. Romero, J. M. Ruiz y Á. S. M. , «Fabricación manual de papel con fibras vegetales,» *REVISTA DIGITAL "PRÁCTICA DOCENTE"*, n° 7, 2007.
- [41] J. A. R. Escobar y G. C. M. Tobar, «Obtención de pulpa celulósica a través de hojas de mazorca de maíz para la elaboración de papel blanco.,» Quevedo, 2017.
- [42] C. I. C. Benítez y J. P. H. Lara, «ELABORACIÓN DE PAPEL ARTESANAL DE CAÑA GUADUA,» Quito, 2009.
- [43] J. E. Valdivieso, «“DISEÑO DE UN PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE PAPEL A PARTIR DE LA CELULOSA EXTRAÍDA DEL OLOTE DE MAÍZ (*Zea mays L. var. Ceratina*),» Riobamba, 2020.
- [44] L. García-Berfon, C. Armijos-Riofrio, S. Aguilar-Ramírez, C. López-Cordova, J. Ramírez-Robles, M. Calva-Luzon y E. Pogo-Tacuri, «Estudio de especies no leñosas

de la provincia de Loja (Ecuador) como potenciales materias primas para la fabricación de papel artesanal,» vol. 22, nº 2, 2021.

- [45] L. García-Berfon, C. A. Riofrio, S. A. Ramírez, C. L. Cordova, J. R. Robles, M. C. Luzon y E. P. Tacuri, «Estudio de especies no leñosas de la provincia de Loja (Ecuador) como potenciales materias primas para la fabricación de papel artesanal,» *Scielo*, vol. 22, nº 2, 2021.
- [46] F. X. H. Lescano, «MODELO DE PROGRAMACIÓN DE PRODUCCIÓN BASADO EN SIMULACIÓN EN UNA EMPRESA DE PAPEL HIGIÉNICO,» Ambato, 2021.
- [47] J. G. Bustillos, «Evaluación de la calidad del cartón obtenido a partir del pseudotallo y raquis de la *musa acuminata cavendish* (banano),» Quevedo, 2017.
- [48] Tappi, «Grammage Of paper and paperboard,» 2013.
- [49] Tappi, «Humedad en Pulpa, Papel y Cartón,» 2006.
- [50] Tappi, «Prueba de Ceniza,» 2006.
- [51] I. N. INEN, «DETERMINACIÓN DE LA ABSORCIÓN DEL AGUA EN PAPELES POROSOS,» 2013.
- [52] N. I. I. P. A. P. D. O. THICKNESS, «NTE INEN 1399 PAPELES Y CARTONES. DETERMINACIÓN DEL ESPESOR,» 2013.
- [53] I. N. T. E. N. INEN, «PAPELES Y CARTONES. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA RUPTURA POR TRACCIÓN EN SECO,» Quito, 2013.
- [54] Inen, «PAPELES Y CARTONES. ACONDICIONAMIENTO DE MUESTRAS,» Quito, 2013.
- [55] C. S. Karen Lizeth Ordoñez Pineda, «CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DE LOS RESIDUOS DEL PLÁTANO Y EL CAFÉ PARA SU POSIBLE USO COMO MATERIAS PRIMAS EN LA FABRICACIÓN DE PAPEL,» 2019.
- [56] K. D. González Velandia, D. Daza Rey, P. A. Caballero Amado y C. Martínez González, «VALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE

RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS A EMPLEARSE EN LA ELABORACIÓN DE PAPEL,» *Revista Luna Azul*, 2016.

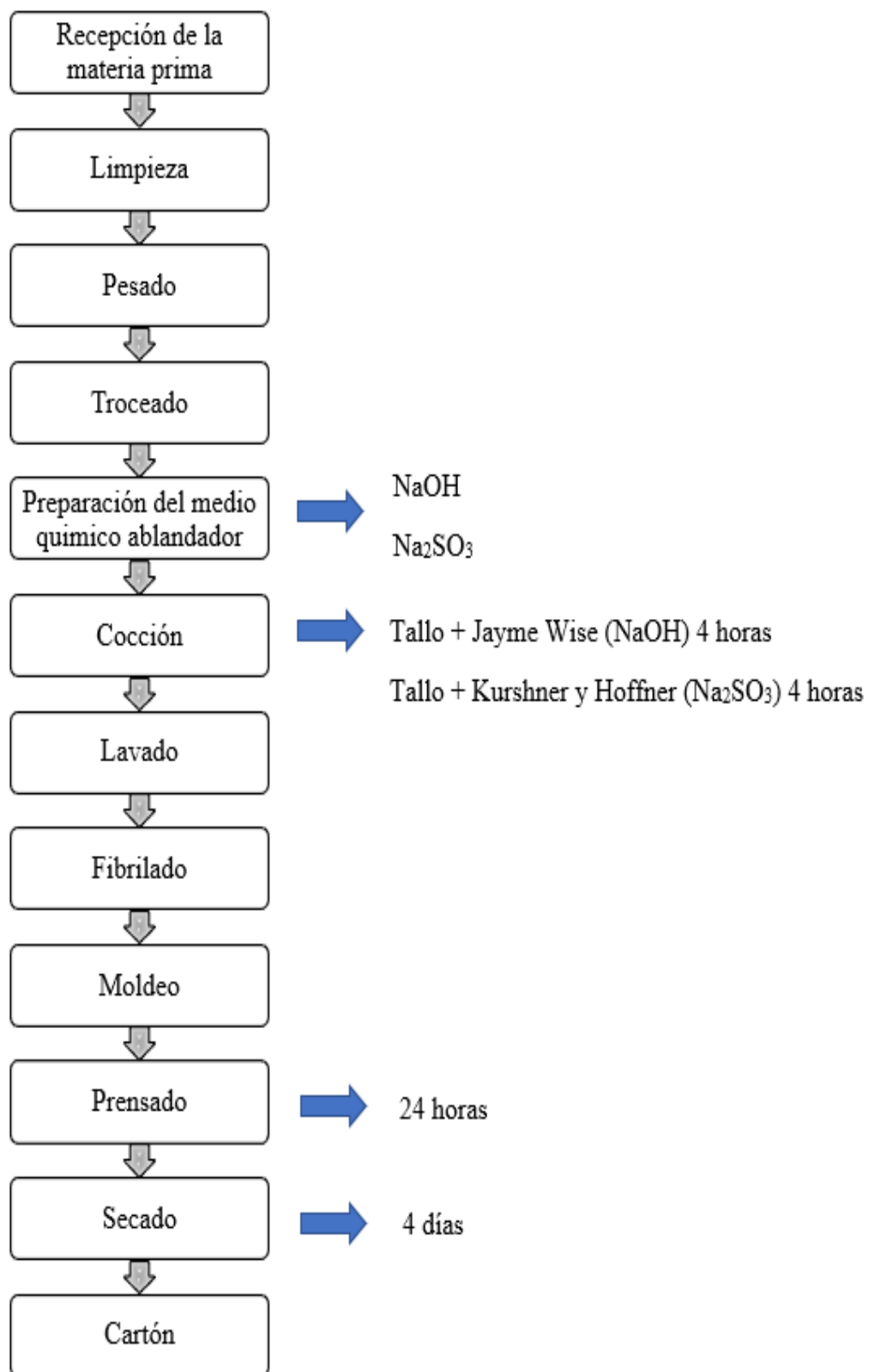
- [57] E. M. Angulo Bedon y M. M. Burgos Villegas, «Influencia del porcentaje de naoh y tiempo de cocción en la elaboración de pulpa de paja de arroz empleada para la formulación de papel onda (fluting paper),» 2011.
- [58] R. R. C. L. T. A. y. V. C. G. L. Reyna, ««Elaboración de cartón a partir de papel reciclado,» *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, pp. 50-54, 2014.
- [59] D. C. Quispe, «EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS QUÍMICAS Y ÓPTICAS DEL PAPEL TIPO GLASSINE OBTENIDO A PARTIR DE FIBRAS DE TOTORA (*Schoenoplectus tatora*)»,» Puno, 2010.
- [60] D. M. G. Alexandra, «ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DE LA PIÑA (Ananas),» Quevedo, 2019.
- [61] C. I. Chiluisa y J. Hernandez, «Elaboracion de papel artesanala de caña guadua,» Quito, 2009.
- [62] T. Escoto 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* , nº 44, pp. 51-55, 2012.
- [63] L. F. Pintor, «Obtención de pulpa celulósica Kraft a partir de *Eichhornia crassipes* Kunth,» Michoacan, 2016.
- [64] L. Fernandez, «Elaboración de cartones a partir de brozas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y paja de Cebada (*Hordeum vulgare* L.),» Puna, 2005.
- [65] J. F. ARAUJO, «REQUERIMIENTOS ESTABLECIDOS POR LAS NORMAS ISO PARA PAPELES PERMANENTES,» *INFORMACIÓN, CULTURA Y SOCIEDAD*, nº 24, pp. 87-96, 2011.
- [66] J. P. Acuña, «El origen del maíz,» *Revista de la Universidad Autónoma del Carmen (Runacar)*, nº 36, pp. 17-18, Julio-Agosto 2005.

- [67] R. Acosta, «El cultivo del maíz, SU origen y clasificación. EL MAIZ en Cuba,» *Scielo*, vol. 30, n° 2, Junio 2009.
- [68] M. Christian y G. Edgardo., « Determinación de la concentración óptima de hidróxido de sodio para la obtención de papel y sus propiedades fisicomecánicas, a partir del raquis del racimo de plátano (*Musa paradisiaca*).,» *Investigación Universitaria*, vol. 8, n° 2, pp. 1-10, 2019.
- [69] C. Mario y K. G. Nicole Torres, «Estudio de la aplicación del olote o tusa de maíz para la reducción del color en aguas residuales de la Hilandería Guijarro cantón Guano.,» Riobamba, 2016.
- [70] J. S. H. Cardona, «OBTENCIÓN DE UN BIOPLÁSTICO A PARTIR DE ALMIDÓN DE PAPA REFORZADO CON CELULOSA DE MAIZ,» PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA, Bogotá, 2019.
- [71] C. G. Coca, «Diseño y técnicas de Packaging,» 2015.
- [72] C. C. Trueba, «El origen del maíz naturaleza y cultura en Mesoamérica,» *Redalyc*, n° 92-93, p. 11, 2009.
- [73] M. J, “Horticultura herbácea especial”, 4ta Edición ed., Madrid: Ediciones Mundi Prensa, 1998, pp. 589-593.
- [74] A. M. M. Lagace, «Materiales y compuestos celulósicos y lignocelulósicos texturizados y composiciones y compuestos de los mismos,» Madrid, 2009.
- [75] C. Nariño, «Materiales Lignocelulosicos,» *Coursehero*, p. 56, 2015.
- [76] Tappi, «Espesor (calibre de papel, cartón y cartón combinado, método de prueba TAPPI / ANSI T 411 om-15,» 2006.
- [77] A. V. R. Pozo. Ecuador 2021.

VII. CAPITULO

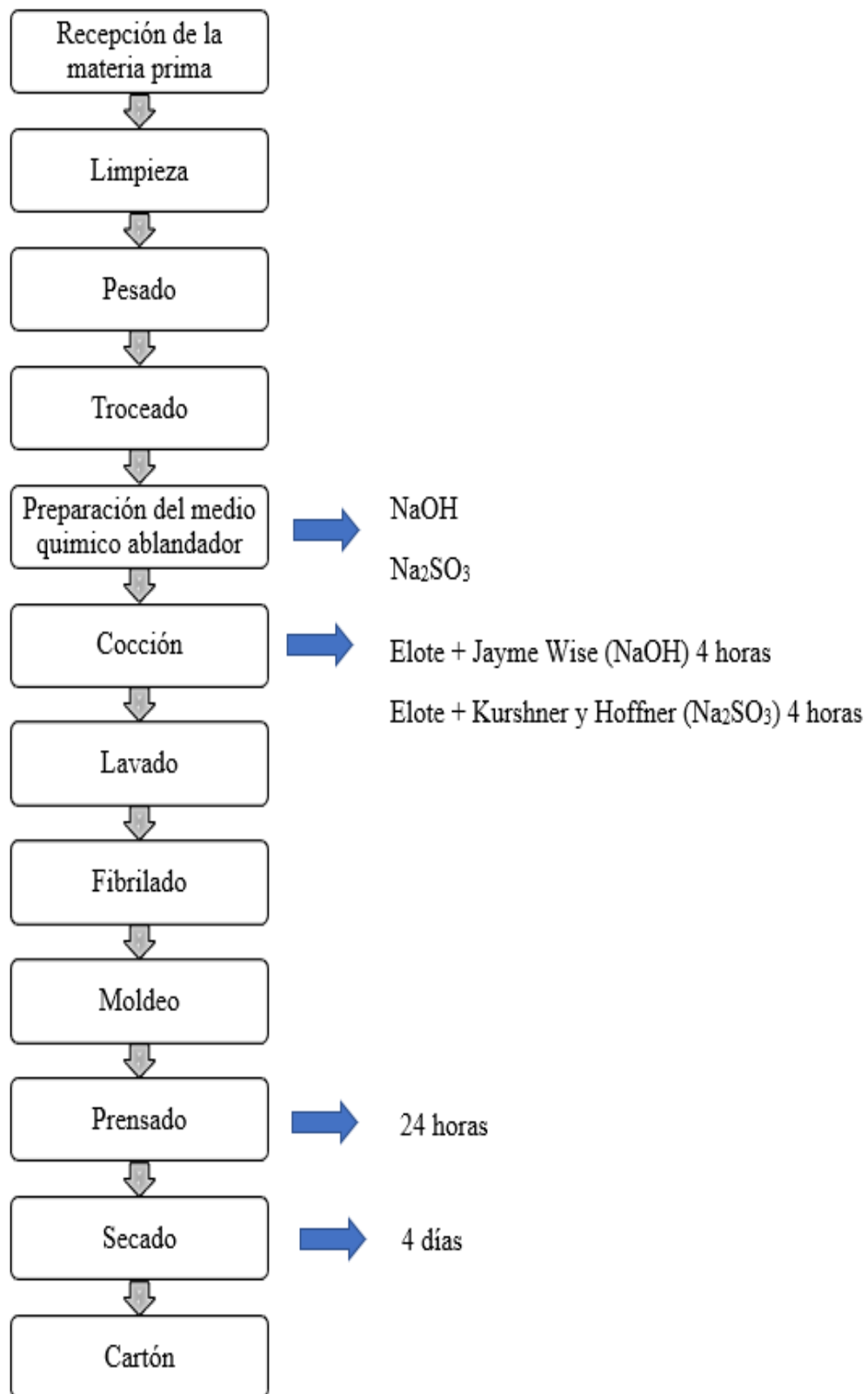
ANEXOS

Anexo 1: Diagrama de flujo para la elaboración de cartón a partir de tallo



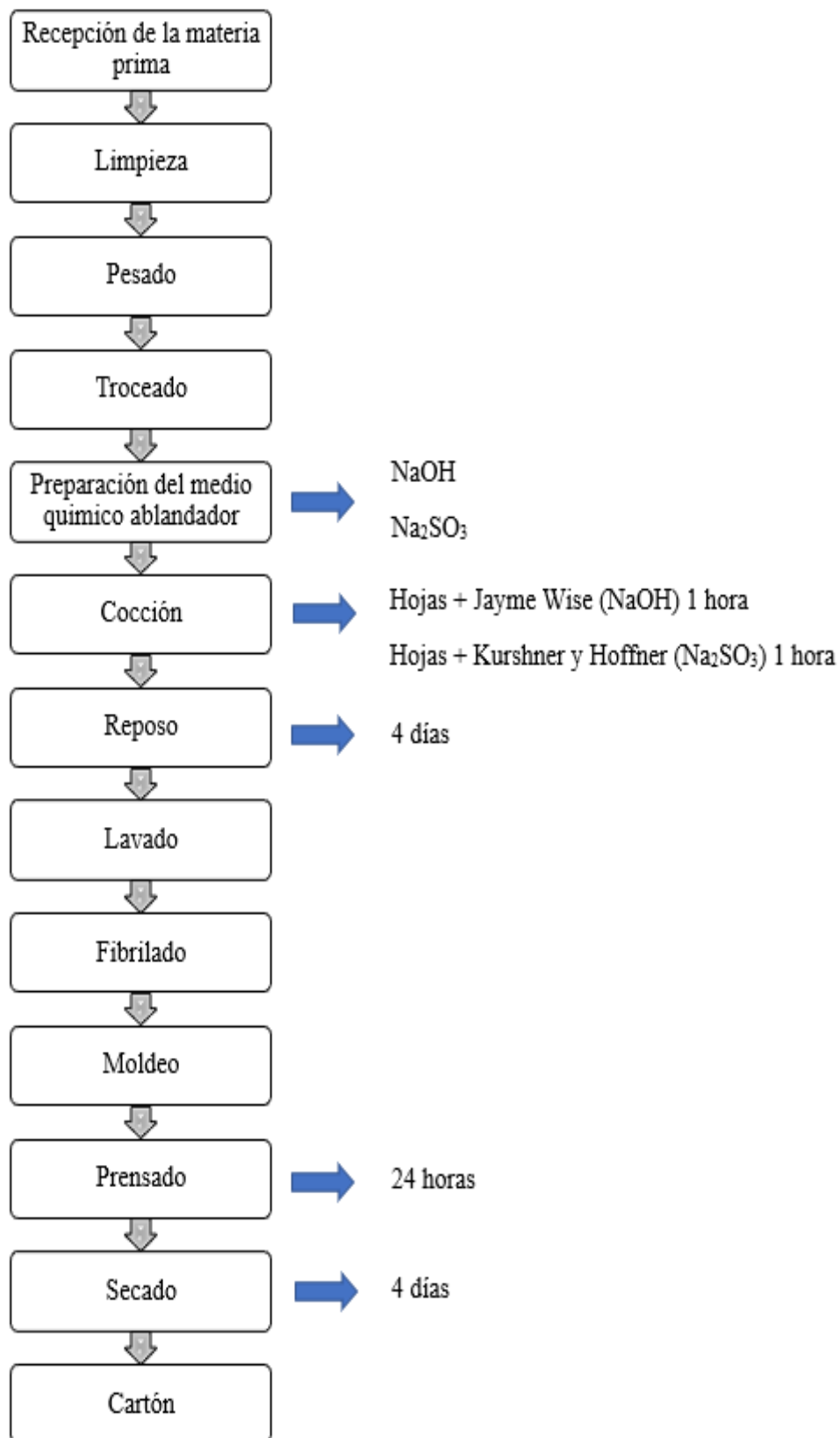
Fuente: Autor

Anexo 2: Diagrama de flujo para la elaboración de cartón a partir de elote



Fuente: Autor

Anexo 3: Diagrama de flujo para la elaboración de cartón a partir de hojas



Fuente: Autor

Anexo 4: Tabla de medias Factor A

Factor A Residuo del maíz	pH inicial	pH final	Humedad	Resistencia a la tensión	Porosidad	Cenizas	Espesor	Gramaje
Tallo	10,04	6,76	46,11	13,03	4,72	0,11	1,20	1,43
Elote	10,94	7,24	67,09	13,04	5,11	0,13	1,20	2,01
Hojas	11,16	7,48	98,33	18,38	7,91	0,25	1,23	2,14

Fuente: Autor

Anexo 5: Tabla de medias Factor B

Factor B Método para obtención de material celulósico	pH inicial	pH final	Humedad	Resistencia a la tensión	Porosidad	Cenizas	Espesor	Gramaje
Jayme Wise (NaOH)	10,58	7,00	70,45	13,01	5,69	0,12	1,19	1,62
Kurshner y Hoffner (Na₂SO₃)	10,82	7,32	70,57	16,63	6,13	0,20	1,23	2,10

Fuente: Autor

Anexo 6: Lugar en donde se recolectaron los residuos



Anexo 7: Recolección de residuos



Anexo 8: Troceado del tallo



Anexo 9: Pesado del tallo troceado



Anexo 10: Pesado del medio químico ablandador NaOH



Anexo 11: Cocción con el método de Wise



Anexo 12: Control de temperatura durante la cocción por el método de Wise



Anexo 13: Ablandamiento de la fibra



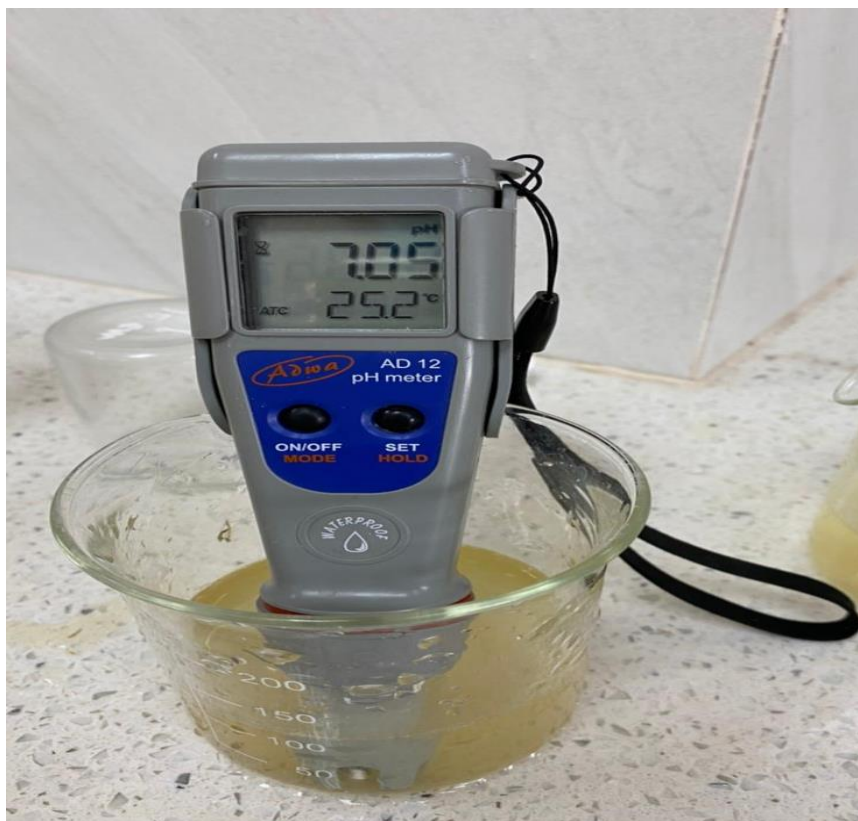
Anexo 14: Medición del pH del Licor negro de cocción



Anexo 15: Lavado de la fibra



Anexo 16: pH después del lavado de la fibra



Anexo 17: Pulpa celulósica a partir de tallo por el método de Wise



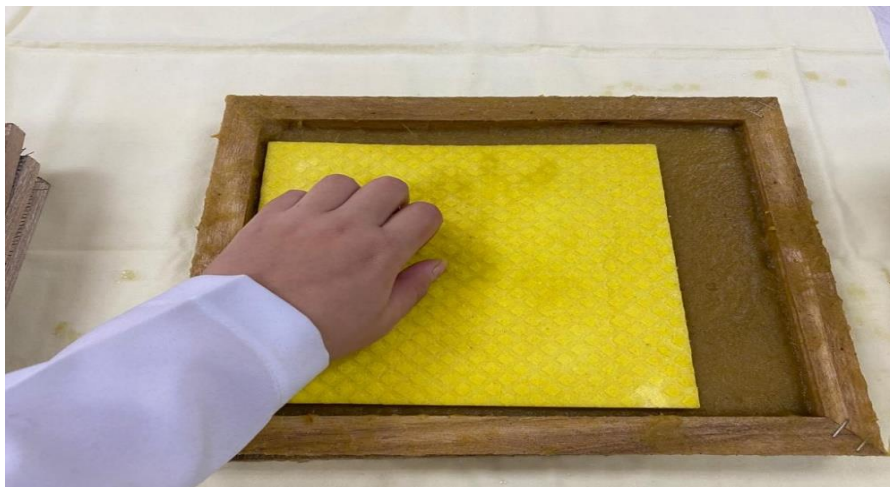
Anexo 18: Pulpa celulósica previo al moldeo



Anexo 19: Moldeo de la pulpa celulósica a partir de tallo por el método de Wise



Anexo 20: Retiro del exceso de agua de la pulpa celulósica obtenida a partir de tallo por el método de Wise



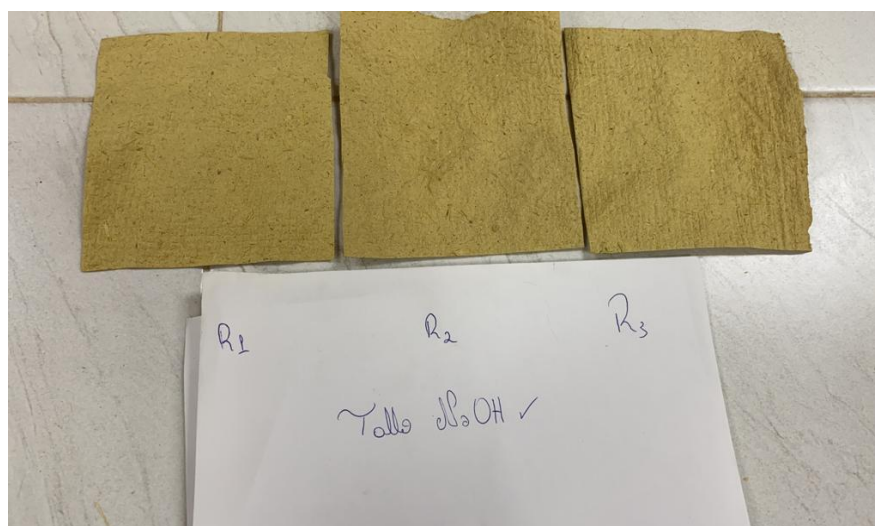
Anexo 21: Prensado de la hoja de cartón obtenida a partir de tallo por el método de Wise



Anexo 22: Secado de las hojas de cartón obtenidas a partir de tallo por el método de Wise



Anexo 23: hojas de cartón a partir de tallo por el método de Wise



Anexo 24: Troceado del tallo para cocción por el método de Kushner y Hoffner



Anexo 25: Pesado de tallo troceado para cocción por el método de Kurshner y Hoffner



Anexo 26: Pesado del medio químico Na_2SO_3



Anexo 27: Cocción de la fibra (tallo) por el método de Kurshner y Hoffner



Anexo 28: Control de temperatura durante la cocción por el método de Kurshner y Hoffner



Anexo 29: Ablandamiento de la fibra por el método de Kurshner y Hoffner



Anexo 30: Medición del pH del licor negro de cocción por el método de Kurshner y Hoffner (tallo)



Anexo 31: Lavado de la fibra ablandada por el método de Kurshner y Hoffner



Anexo 32: Medición del pH después del lavado de la fibra cocida por el método de Kurshner y Hoffner



Anexo 33: Licuado de la fibra para obtención de pulpa por el método de Kurshner y Hoffner



Anexo 34: Moldeo de la pulpa celulósica obtenida por el método de Kurshner y Hoffner



Anexo 35: Secado de la hoja de cartón obtenida por el método de Kurshner y Hoffner



Anexo 36: Troceado y pesado de la tusa para cocción por el método de Wise



Anexo 37: Cocción de la tusa por el método de Wise



Anexo 38: Control de temperatura durante la cocción de la tusa por el método de Wise



Anexo 39: Ablandamiento de la tusa por el método de Wise



Anexo 40: Medición del pH del licor negro de cocción de la tusa ablandada por el método de Wise



Anexo 41: Lavado de la tusa ablandada por el método de Wise



Anexo 42: Medición del pH después del lavado de la tusa cocida por el método de Wise



Anexo 43: Licuado de la tusa para obtención de pulpa por el método de Wise



Anexo 44: Moldeo y retiro del exceso de agua de la pulpa celulósica obtenida a partir de tusa por el método de Wise



Anexo 45: Hojas prensadas listas para el secado



Anexo 46: Troceado y pesado de la tusa para la cocción por el método de Kurshner y Hoffner



Anexo 47: Cocción de la tusa por el método de Kurshner y Hoffner



Anexo 48: Control de temperatura durante la cocción de la tusa por el método de Kushner y Hoffner



Anexo 49: Ablandamiento de la tusa por el método de Kurshner y Hoffner



Anexo 50: Medición del pH del licor negro de cocción de la tusa ablandada por el método de Kurshner y Hoffner



Anexo 51: Lavado de la tusa ablandada por el método de Kurshner y Hoffner



Anexo 52: Medición de pH después del lavado de la tusa ablandada por el método de Kushner y Hoffner



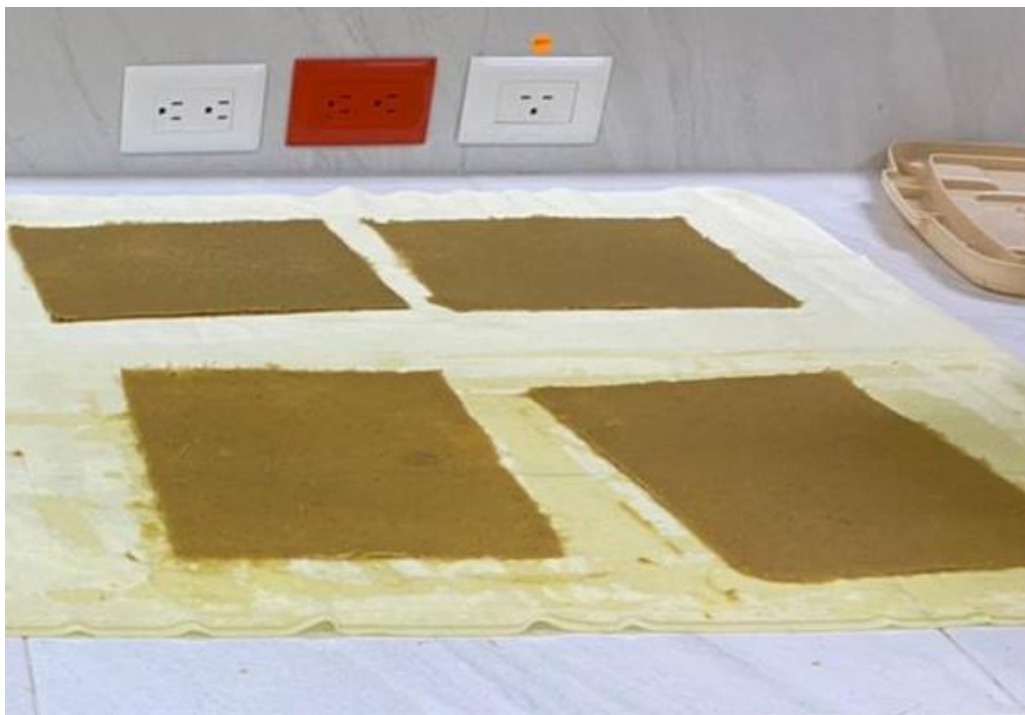
Anexo 53: Licuado de la tusa para obtención de pulpa por el método de Kushner y Hoffner



Anexo 54: Moldeo y retiro del exceso de agua de la pulpa celulósica obtenida a partir de tusa por el método de Kushner y Hoffner



Anexo 55: Secado de la hoja de cartón a partir de tusa obtenida por el método de Kurshner y Hoffner



Anexo 56: Troceado de las hojas para el método de ablandamiento de Wise



Anexo 57: Cocción de las hojas por el método de Wise



Anexo 58: Control de temperatura durante la cocción de las hojas por el método de Wise



Anexo 59: Reposo de las hojas con el medio químico ablandador por el método de Wise



Anexo 60: Medición del pH del licor negro de cocción de las hojas por el método de Wise



Anexo 61: Lavado de las hojas ablandadas por el método de Wise



Anexo 62: Medición de pH después del lavado de las hojas ablandadas por el método de Wise



Anexo 63: Licuado de las hojas para obtener pulpa celulósica por el método de Wise



Anexo 64: Pulpa celulósica a partir de hojas por el método de Wise



Anexo 65: Moldeo de la pulpa celulósica a partir de hojas obtenida por el método de Wise



Anexo 66: Secado de la hoja de cartón a partir de hojas obtenida por el método de Wise



Anexo 67: Troceado de las hojas para el método de ablandamiento de Kurshner y Hoffner



Anexo 68: Cocción de las hojas por el método de Kurshner y Hoffner



Anexo 69: Control de temperatura durante la cocción de las hojas por el método de Kurshner y Hoffner



Anexo 70: Reposo de las hojas con el medio químico ablandador por el método de Kurshner y Hoffner



Anexo 71: Medición del pH del licor negro de cocción de las hojas por el método de Kurshner y Hoffner



Anexo 72: Lavado de las hojas ablandadas por el método de Kurshner y Hoffner



Anexo 73: Medición de pH después del lavado de las hojas ablandadas por el método de Kushner y Hoffner



Anexo 74: Licuado de las hojas para obtener pulpa celulósica por el método de Kurshner y Hoffner



Anexo 75: Pulpa celulósica a partir de hojas por el método de Kurshner y Hoffner



Anexo 76: Moldeo de la pulpa celulósica a partir de hojas obtenida por el método de Kurshner y Hoffner



Anexo 77: Prensado y secado de las hojas de cartón obtenidas a partir de hojas por el método Kurshner y Hoffner



Anexo 78: Fotos del proceso de elaboración del cartón y de los análisis Físicos, químicos y mecánicos



Anexo 79: Determinación de espesor

Tallo James Wise



Tallo Kurshner y Hoffner



Tusa James Wise



Tusa Kurshner y Hoffner



Hojas James Wise



Hojas Kurshner y Hoffner



Anexo 80: Determinación de Gramaje

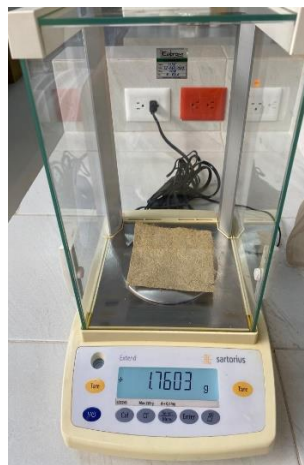
Tallo James Wise



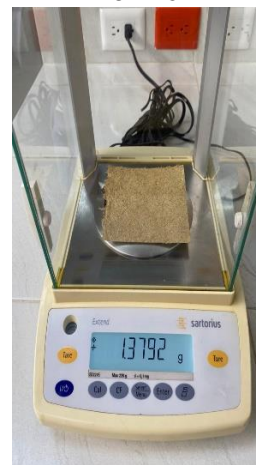
Tallo Kurshner y Hoffner



Tusa James Wise



Tusa Kurshner y Hoffner



Hojas James Wise



Hojas Kurshner y Hoffner

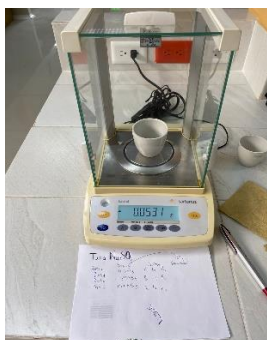


Anexo 81: Determinación de cenizas

Tallo James Wise



Tallo Kurshner y Hoffner



Tusa James Wise



Tusa Kurshner y Hoffner



Hojas James Wise



Hojas Kurshner y Hoffner



Anexo 82: Determinación de porosidad

Tallo James Wise



Tallo Kurshner y Hoffner



Tusa James Wise



Tusa Kurshner y Hoffner



Hojas James Wise

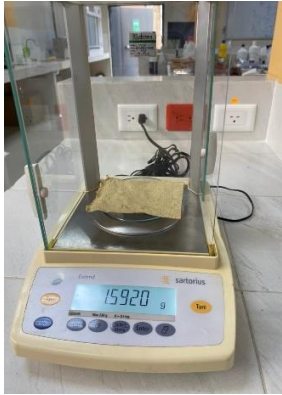


Hojas Kurshner y Hoffner



Anexo 83: Determinación de humedad

Tallo James Wise



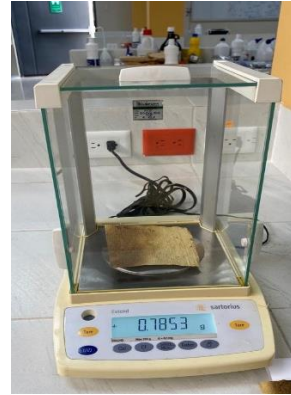
Tallo Kurshner y Hoffner



Tusa James Wise



Tusa Kurshner y Hoffner



Hojas James Wise



Hojas Kurshner y Hoffner



Anexo 84: Resistencia a la tracción o tensión



Anexo 85: Registro de asistencia al laboratorio de suelo y aguas


UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
 LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS
 REGISTRO DE ACTIVIDADES DEL LABORATORIO DE SUELOS - AGUAS - AIRES
 USO DEL LABORATORIO PARA EL DESARROLLO DE TRABAJOS INVESTIGATIVOS

Fecha	Responsable (Nombre y Apellidos)	Práctica o Proyecto	Equipos y/o materiales utilizados	Curso y Carrera a la que pertenece	Firma Responsable	Observación
07-09 2021	Ariana Rendón	Evaluación del material de laboratorio proveniente de la Agroindustria del maíz	Licudadora, termómetro cocina y medidor pH	Agropecuaria Ingeniería Agroindustrial	Ariana Rendón	Se utilizó la cocina durante 3 horas
08-09 2021	Ariana Rendón	Elaboración de algodón	Licudadora, termómetro cocina y medidor pH	Agropecuaria Ingeniería Agroindustrial	Ariana Rendón	Se utilizó la licudadora durante dos horas
09-09 2021	Ariana Rendón	Elaboración de algodón	Licudadora, termómetro cocina y medidor pH	Agropecuaria Ingeniería Agroindustrial	Ariana Rendón	Se utilizó cocina y licudadora durante 3 horas
13-09 2021	Ariana Rendón	Elaboración de algodón con residuos de maíz	Licudadora, cocina, termómetro medidor pH	Ingeniería Agroindustrial	Ariana Rendón	Se utilizó la cocina durante 5 horas
15/09 2021	Ariana Rendón	Elaboración de algodón	Mezcla y burla estufa	Ingeniería Agroindustrial	Ariana Rendón	Se utilizó durante 2 horas ya sea la mezcla que la estufa
16/09 2021	Ariana Rendón	Elaboración de algodón	Mezcla estufa y burla	Ingeniería Agroindustrial	Ariana Rendón	Se utilizó durante 4 horas la mezcla y la estufa

Ing. José Vargas Sánchez
 Responsable del Laboratorio

firma Jefe Inmediato

Anexo 86: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción o tensión


01.10.21

Informe de ensayos

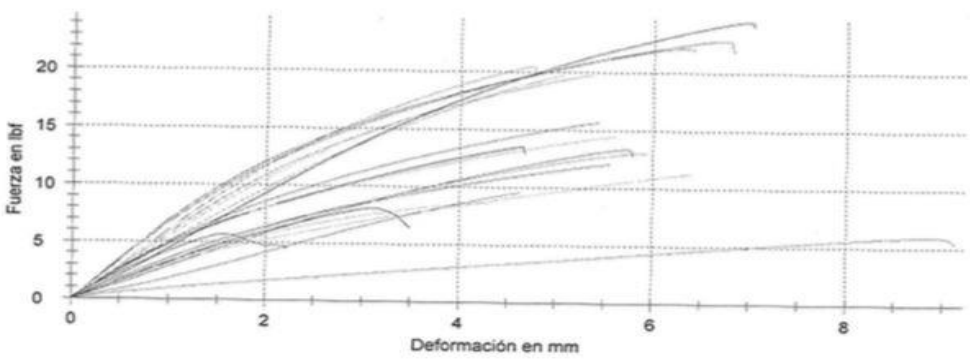
Cliente	:	Identificación de suministro	:
Orden-N°.	:	Toma de la muestra	:
Norma de ensayo	:	Pretratamiento	:
Dispositivo de ensayo	:	Analista	:
Tipo e identificación	:	Observación	:

Precarga : 3 N
Velocidad de ensayo : 100 mm/min

Resultados de ensayo:

Nr	F	l _b	ε _B	Z	ε	Nr	F	l _b	ε _B	Z	ε
	lbf	km	mm	J/m ²	%		lbf	km	mm	J/m ²	%
1	13.4	1.7	5.8	42.8	3.2	11	14.5	1.8	5.7	51.4	3.2
2	13.0	1.7	5.9	45.0	3.3	12	22.8	2.9	6.8	99.4	3.8
3	8.11	1.0	3.5	14.0	1.7	13	5.96	0.8	9.1	28.6	5.0
4	8.63	1.1	4.3	22.5	2.4	14	19.8	2.5	5.4	65.1	3.0
5	9.58	1.2	4.6	22.1	2.6	15	12.1	1.5	5.6	40.5	3.1
6	19.7	2.5	5.1	55.8	2.8	16	20.5	2.6	4.8	57.1	2.7
7	19.2	2.5	4.9	54.5	2.7	17	24.5	3.1	7.0	99.1	3.9
8	5.73	0.7	2.2	5.07	0.9	18	11.3	1.4	6.4	42.9	3.6
9	15.6	2.0	5.4	52.1	3.1	19	22.1	2.8	6.4	89.2	3.6
10	13.6	1.7	4.7	38.0	2.6						


Gráfico Serie:



Estadística:

Ensayos traccion Programa base 20170214.zp2

Página 1/2


01.10.21

Serie	L _i	ε _B	l _B	F	Z	ε
n = 19	mm	mm	km	lbf	J/m ²	%
x	177.80	5.5	1.9	14.7	48.7	3.0
s	0.00	1.5	0.7	5.82	26.2	0.9
v	0.00	26.62	39.49	39.49	53.82	28.50