

Evaluación del material celulósico proveniente de residuos derivados de la agroindustria del maíz (*Zea mays*), para la elaboración de cartón

Evaluation of cellulosic material from residues derived from the corn (*Zea mays*) agroindustry, for the production of cardboard.

Ariana Rendón Pozo

Universidad Técnica Estatal de Quevedo
xguillin@uteq.edu.ec
Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7317-5990>

Azucena Bernal Gutiérrez

MSc., Docente de la Universidad Técnica Estatal
De Quevedo, Quevedo-Ecuador,
abernal@uteq.edu.ec

Resumen

La deforestación para la obtención de papel es uno de los principales factores que contribuyen con el deterioro del aire, suelo y agua, por esto empieza la necesidad de encontrar materias primas alternativas a la elaboración de papel y cartón como fuente de pulpa celulósica de fibras no leñosas. El objetivo del presente trabajo de investigación fue aprovechar uno de los cereales más consumidos a nivel mundial como es el maíz y valorizar sus residuos para la elaboración de cartón. Para la obtención de pulpa celulósica se utilizaron dos métodos: James Wise y Kurshner y Hoffner, que permitieron obtener un producto con características aceptables y competitivas. La influencia del tipo residuos de maíz y el proceso de obtención de cartón se analizaron a través de siete variables agrupadas en: método de obtención del material celulósico, características físico-mecánicas del producto final y rendimiento. El proceso de elaboración del cartón se demostró mediante simulación, en el software Flexsim. Los resultados permitieron analizar las características físicas, químicas y mecánicas del cartón que permitieron identificar si los residuos del maíz son una alternativa para la fabricación de cartón, dando resultados favorables para la mayor parte de variables analizadas. Finalmente se concluyó que la obtención de pulpa por el método de Kurshner y Hoffner con elote (maíz) generó mayor cantidad de gramaje en las hojas de cartón 82g/m².

Palabras clave: Desperdicio agrícola, fibra, cartón, pulpa celulósica, valoración agroindustrial.

Abstract

Deforestation for paper production is one of the main factors that contribute to the deterioration of air, soil, and water, which is why there is a need to find alternative raw materials to produce paper and cardboard as a source of cellulose pulp from non-woody fibers. The aim of this research work was to make use of one of the most widely consumed cereals in the world, corn, and to recover its residues to produce cardboard. Two methods were used to obtain cellulose pulp: James Wise and Kurshner and Hoffner, which made it possible to obtain a product with acceptable and competitive characteristics. The influence of the type of maize waste and the process of obtaining cardboard was analysed through seven variables grouped into: method of obtaining the cellulosic material, physical-mechanical characteristics of the final product and yield. The cardboard production process was demonstrated by means of simulation in Flexsim software. The results made it possible to analyse the physical, chemical, and mechanical characteristics of the cardboard that made it possible to identify whether maize waste is an alternative for cardboard manufacture, giving favourable results for most of the variables analysed. Finally, it was concluded that obtaining pulp by the Kurshner and Hoffner method with corn (maize) generated a higher grammage in the 82g/m² sheets of cardboard.

Key words: Agriculture waste, fiber, pulp, cardboard, agro-industrial valuation.

Introducción

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 (Carlos Ricardo Delgado Villafuerte, 2019).

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 (Cervantes, 2014).

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 (Cervantes, 2014).

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 componentes como: fibra, celulosa, lignina, hemicelulosa, hemicelulosa que se pueden

emplear para brindar valor agregado al cultivo (Mutjé, Méndez, Vilaseca, López, & Pèlach, 2008); (Aseffe, Jaén, Ruiz, González, & Lora, 2019); (Galindo, 2017); (Cardoza & Perea, 2006).

Estos residuos no están siendo utilizados 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 calidad de estos residuos (Cervantes, 2014).

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 (Arvizu, 2011); (Danitza, Dayra, & Andrea, 2016) (Ángel & Georgette, 2019) y (Tapia & Velazco, 2016).

Por tal razón 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 e incentivar la no utilización de material celulósico de origen leñoso, ya que el cartón altamente reciclable se direcciona a ser el tipo de empaque, envase y embalaje mayormente utilizado por las industrias.

La presente investigación hace énfasis en el aprovechamiento de los residuos del maíz tales como; tallo, elote y hojas (Factor A: a0=tallo, a1=elote, a2=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: b0=método de Jayme Wise; b1= 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.

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 (Mutjé, Méndez, Vilaseca, López, & Pèlach, 2008).

Desde tiempos muy remotos el uso de papel ha sido muy común en el hombre (Rios & Saavedra, 2018). 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 (Ginés, 2017). El cartón se produce por superposición de papeles en múltiples formas, creando la gran amplia gama de cartones que encontramos en el mercado actualmente (Ginés, 2017).

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 (Ginés, 2017).

Ginés (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 hendidos 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 (Ginés, 2017).

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 (Ginés, 2017).

Materiales y Métodos

El proceso de elaboración de cartón y la mayor parte de ensayos fisicoquímicos se realizaron 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. Para el desarrollo del presente proyecto se aplicaron los métodos de investigación analítico, bibliográfico, descriptivo y experimental. Se aplicó un diseño factorial (A * B), se utilizó A para el análisis del tipo de materia prima a partir de residuos de maíz, en factor B se utilizaron dos métodos para la obtención de material celulósico.

Los materiales utilizados fueron: agua, pulpa de fibras vírgenes no leñosas derivadas de residuos del maíz en este caso hojas, tallos, elotes y reactivos. Tanto el elote y los tallos se trocearon, se utilizó 1kg de materia prima. Se diluyó el medio químico, el NaOH para el método de ablandamiento de Jaime Wise y el Na₂SO₃ para el método de Kurshner y Hoffner, se tomó el 5% en peso del químico para ambos métodos por los 1.000 g de materia prima en 2.000 ml de agua. Una vez mezclada la materia prima con la solución, se realizó la cocción a una temperatura entre 80 °C y 90 °C, para el método de Wise, mientras para el método de Kurshner y Hoffner en un rango entre 135 – 140 °C durante 4 horas para ambos casos, posteriormente se verificó si los trozos se desintegraban al frotar.

Para las hojas se realizó una cocción de baño maría usando 1kg de materia prima y a la vez se sumergieron en el medio químico ya sea el NaOH para el método de Wise o el Na₂SO₃ para el método 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 la fibra del licor negro que se generó durante la cocción. Posteriormente para todos los casos se lavó la fibra para retirar el licor negro y los materiales higroscópicos que produjeron los químicos hasta que el agua fuera transparente y se alcanzara un pH entre 7 y 8.

Se procedió a fibrilar la pulpa en una licuadora. Se moldeó agitando la pasta horizontal y verticalmente con 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 eliminara la mayor cantidad de agua. Para el secado se colgaron las hojas de cartón al aire libre y al sol durante un periodo de cuatro días. Finalmente se realizaron los análisis fisicoquímicos y mecánicos y la simulación de procesos en el software flexsim. Para determinar el pH del licor negro de cocción se realizó la toma del pH al finalizar la cocción de la fibra, según lo indicado en la norma NTE INEN 1418. La determinación del gramaje se hizo según lo indicado en la norma Tappi 410, se usaron muestras de dimensiones 10x10 cm².

La determinación de humedad se realizó según lo estipulado en la norma Tappi 412, la determinación de cenizas se realizó según establecido en la norma Tappi 211, La porosidad o absorción de agua se determinó según lo establecido en las normas Inen 1407. La determinación del espesor se realizó según lo estipulado en las normas Inen 1399. La norma INEN 1405 describe el proceso de medición de resistencia a la tensión según lo especificado en la norma TAPPI 494. El 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). 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 en el software flexsim.

Resultados

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 INFOSTAT, STATGRAPHICS y STATISTICA. Es por esto que los resultados de tablas y gráficos difieren sutilmente en el rango de números.

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.

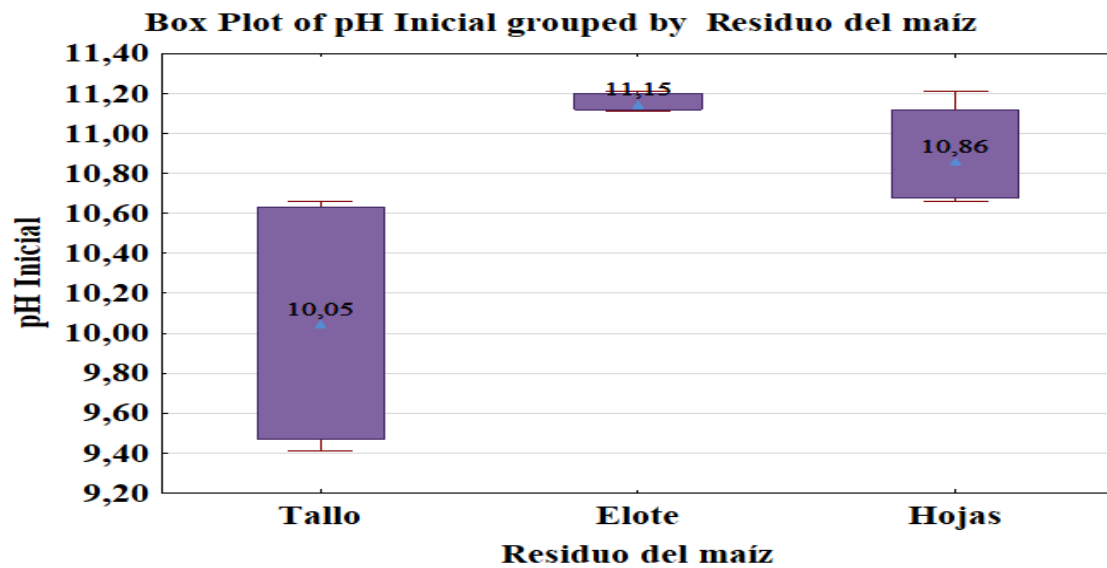
Tabla 1: Resultados de la diferencia entre medias entre el tipo de residuo utilizado de la prueba de significación de Tukey referente al pH Inicial y final del licor de cocción.

Factor A	pH inicial	pH final
Residuo del maíz		
Tallo	10,04	6,76

Elote	10,94	7,24
Hojas	11,16	7,48

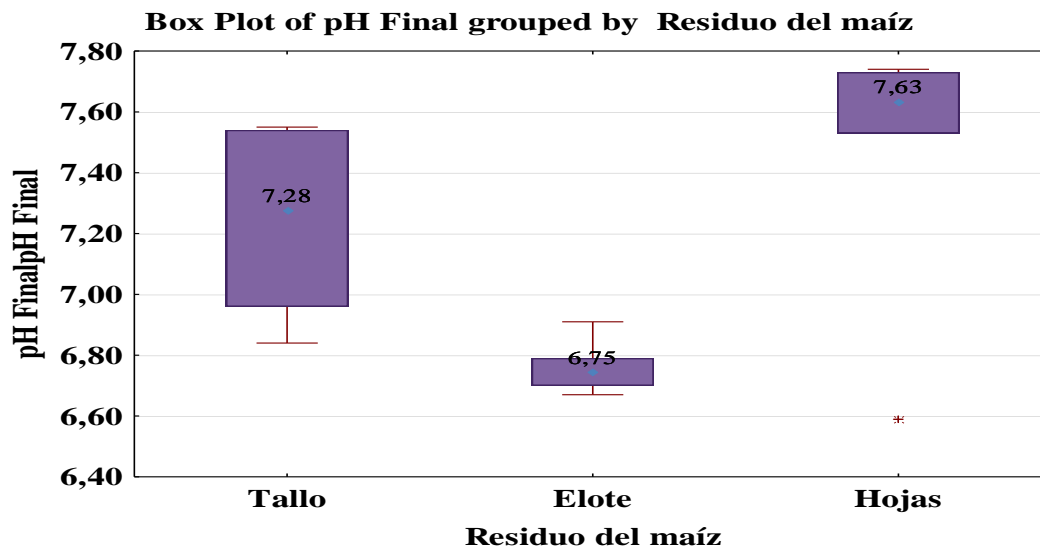
Fuente: Rendón A. (2021)

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



Fuente: Rendón A. (2021)

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



Fuente: Rendón A. (2021)

Interpretación: El gráfico 1 indica 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.

Se 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 a 2 hojas (7,48) 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 (2017). Sin embargo, la investigación de García y otros (2021) 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.

Resultados referentes al producto final

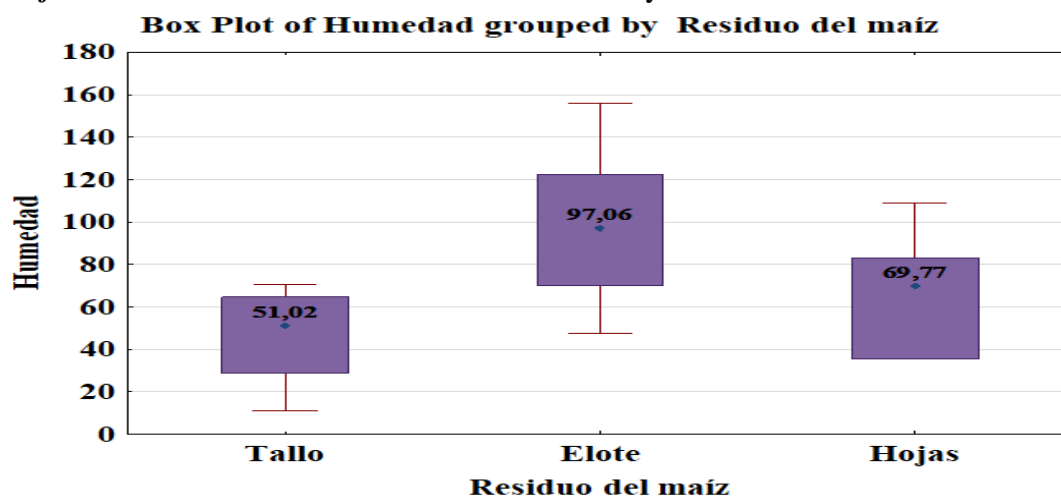
Determinación de humedad

Tabla 2: 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	Humedad
Residuo del maíz	
Tallo	46,11
Elote	67,09
Hojas	98,33

Fuente: Rendón A. (2021)

Gráfico 1: Gráfico de medias referente al factor A y humedad



Fuente: Rendón A. (2021)

Interpretación: El gráfico 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.

En la investigación de Bustillos (2017) el producto final obtuvo una humedad en un rango de 7% y 15 %, Flor y Huatatoca (2020) obtuvieron valores de humedad en un rango de 5,71% y 6,42%, el valor mínimo de humedad que establece la norma Inen 1397 es del 7%, 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 (Inen, 2013).

El cartón obtenido presentó un alto contenido de humedad, esto se debe al tiempo de recolección de los residuos, en la producción de papel es importante que las fuentes de fibra dispongan 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 (Karen Lizeth Ordoñez Pineda, 2019).

Los resultados obtenidos difieren porque de acuerdo con la investigación realizada por González Velandía, Krystle Danitza; Daza Rey, Dayra; Caballero Amado, Paola Andrea; Martínez González, Chadae (2016) 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.

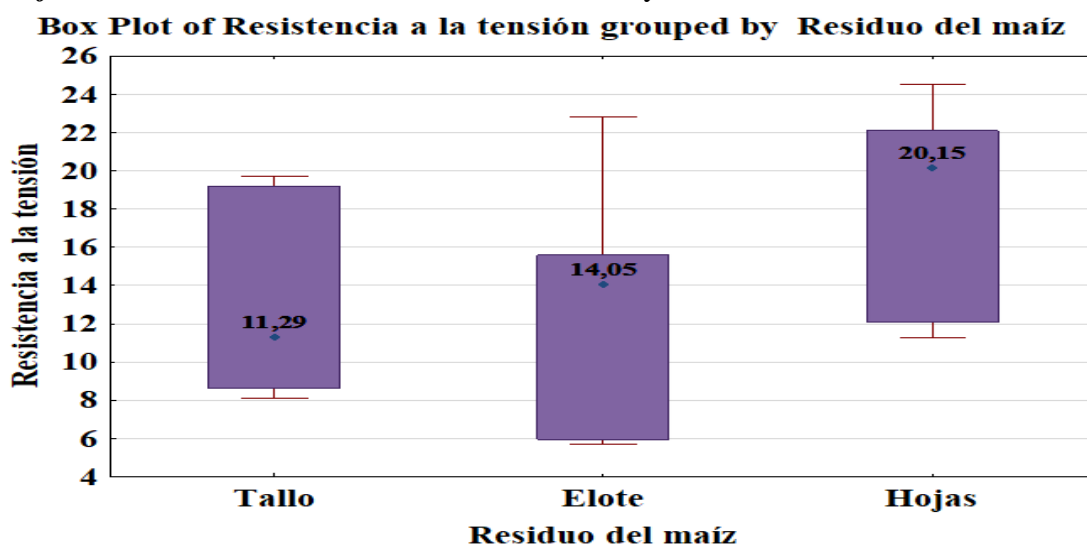
Resistencia a la tensión

Tabla 3: 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	Resistencia a la Tensión
Residuo del maíz	
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 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 Huatatocha (2020).

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, 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 dirección de fibra, (González Velandia, Daza Rey, Caballero Amado, & Martínez González, 2016).

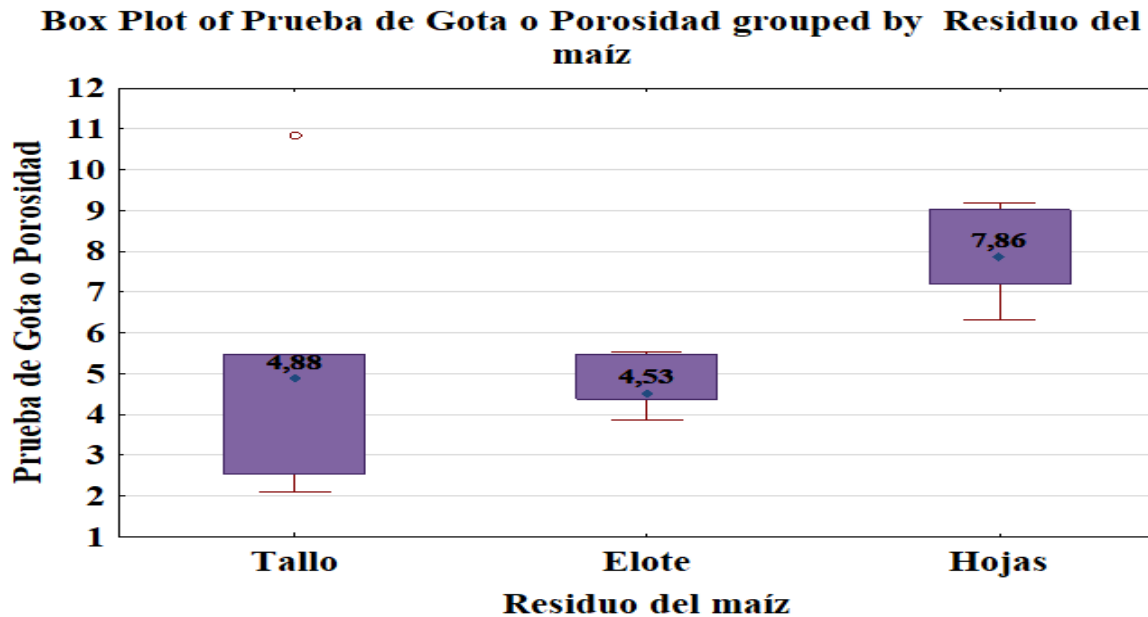
Prueba de Gota de agua o Porosidad

Tabla 4: 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	Porosidad
Residuo del maíz	
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 (Bustillos, 2017).

El cartón obtenido está en el rango de lo establecido para la Norma Inen 1407 , es importante determinar mediante caracterización físico química la composición del 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 (Karen Lizeth Ordoñez Pineda, 2019), (Angulo Bedon & Burgos Villegas, 2011) (González Velandia, Daza Rey, Caballero Amado, & Martínez González, 2016).

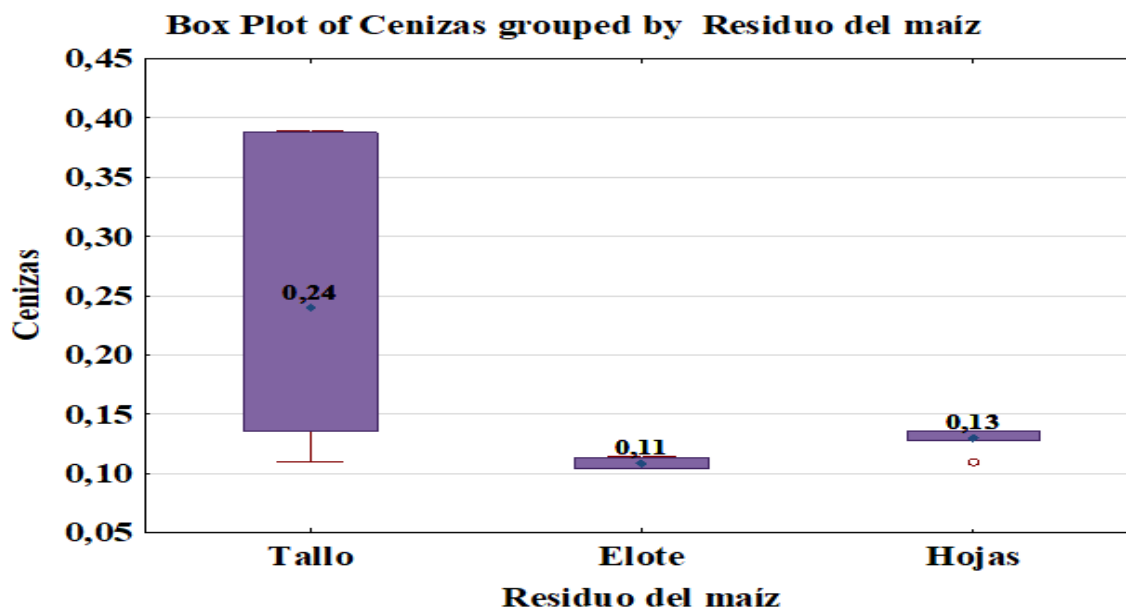
Determinación de cenizas

Tabla 5: 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	Cenizas
Residuo del maíz	
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 gráfico 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 se obtuvo un rango entre 0,13 a 0,24 g, las normas TAPPI T 211 indican que el rango establecido es de al máximo 1% ya que esta representa el contenido de relleno en el papel (Angulo Bedon & Burgos Villegas, 2011).

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 (García-Berfon, y otros, 2021). El

porcentaje de sílice (SiO₂) también afecta en la cantidad de cenizas, cabe recalcar que la sílice causa problemas en la elaboración y en la calidad del papel (García-Berfon, y otros, 2021).

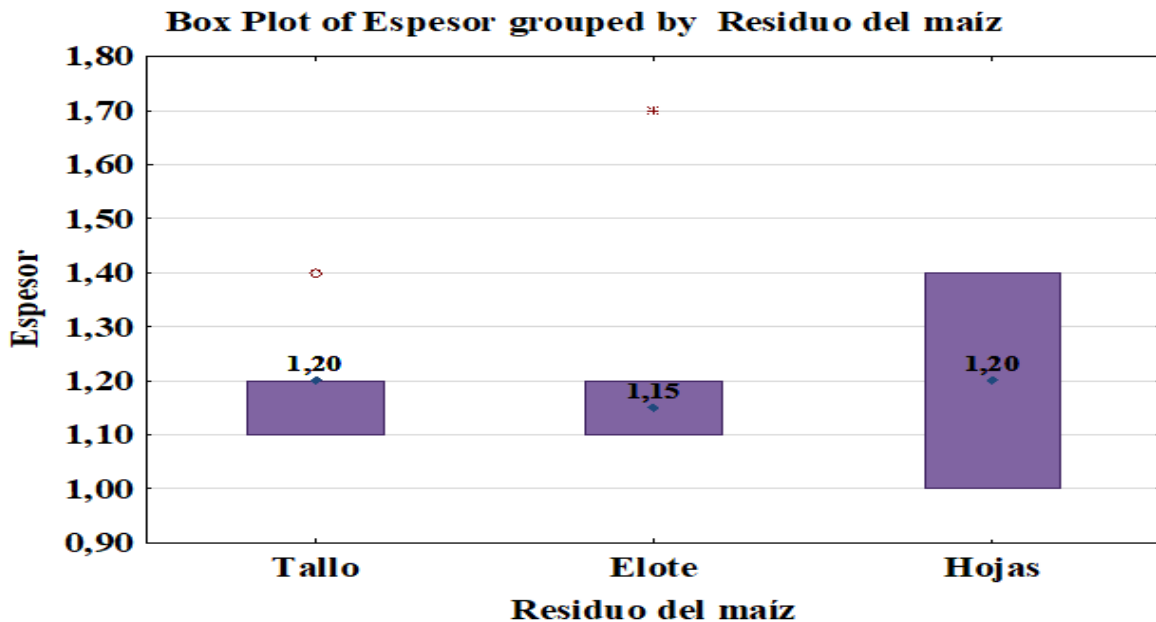
Determinación de espesor

Tabla 6: 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	Espesor
Residuo del maíz	
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 (2017) 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 (2014), se presentan valores desde 0,20mm hasta 2,40 mm de espesor en el cartón que obtuvieron a base de papel bond reciclado.

Es por esto que se busca eliminar al máximo posible todos esos componentes no celulósicos que puedan interferir en la calidad del papel, 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. (Karen Lizeth Ordoñez Pineda, 2019).

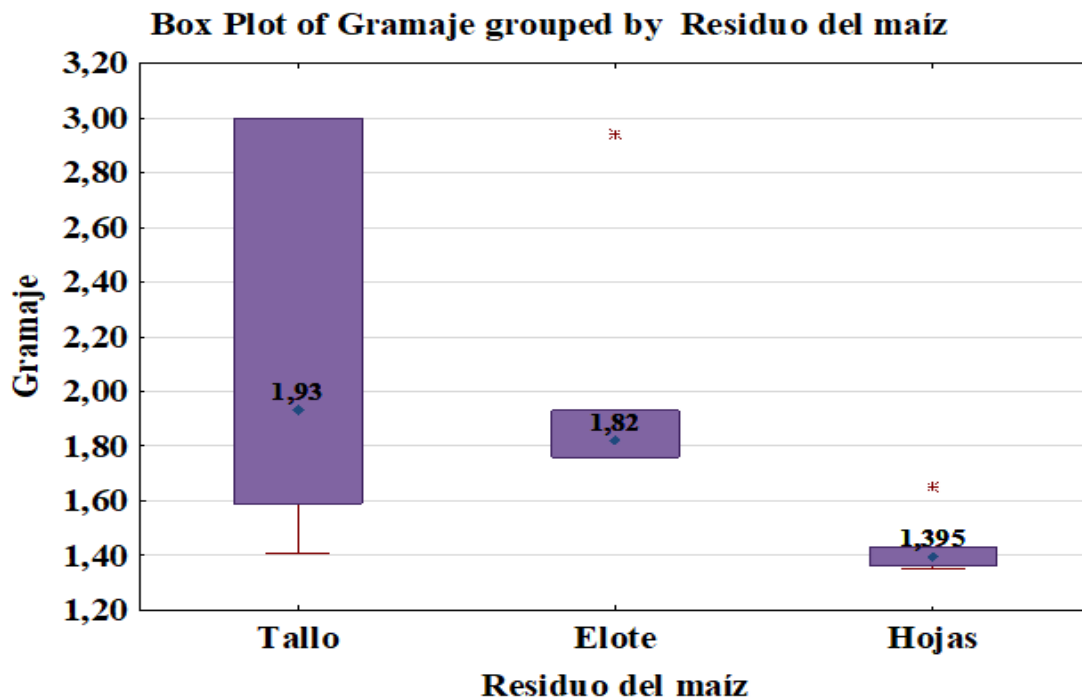
Determinación de gramaje

Tabla 7: 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	Gramaje
Residuo del maíz	
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 (Angulo Bedon & Burgos Villegas, 2011).

Según Flor y Huatatocha (2020), 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 cascara de plátano y tallo de maíz de la investigación de Flor y Huatatocha (2020). Por eso es indispensable considerar la proporción de medio químico utilizado (Flor & Huatatocha, 2020).

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*).

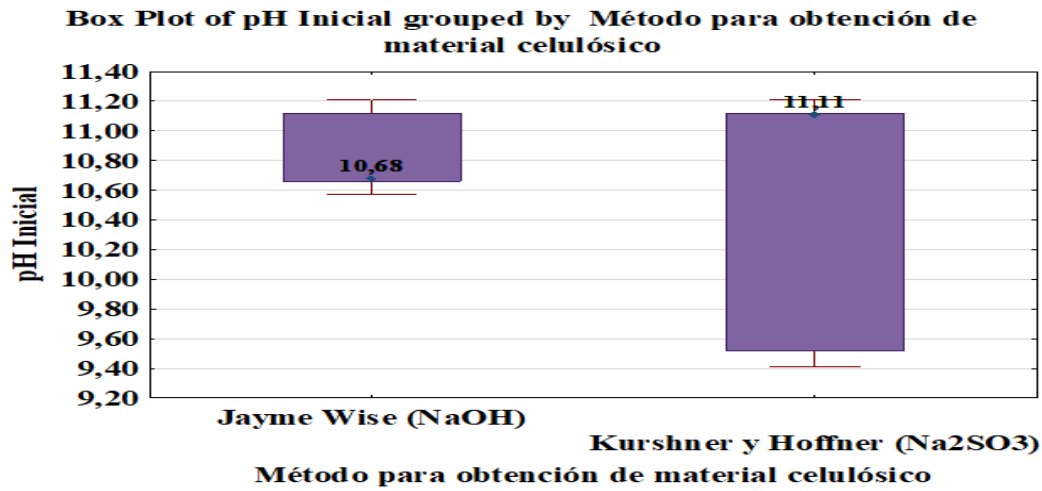
Resultados referentes al licor de cocción

Tabla 8: 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	pH inicial
Método para obtención de material celulósico	
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.

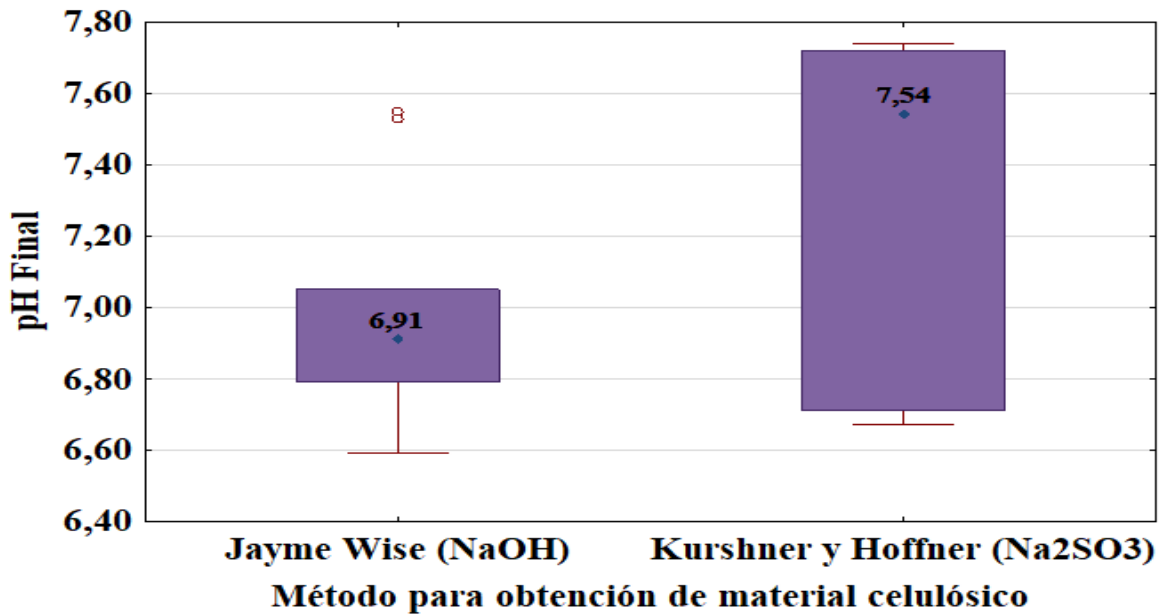
Tabla 9: Resultados de la diferencia entre medias entre método para obtención de material celulósico de la prueba de significación de Tukey referente a pH final.

Factor B	pH final
Método para obtención de material celulósico	
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 (2010) redactó que el pH máximo del licor de cocción debe estar en un rango de 9, Domínguez (2019) redactó que 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 10: 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

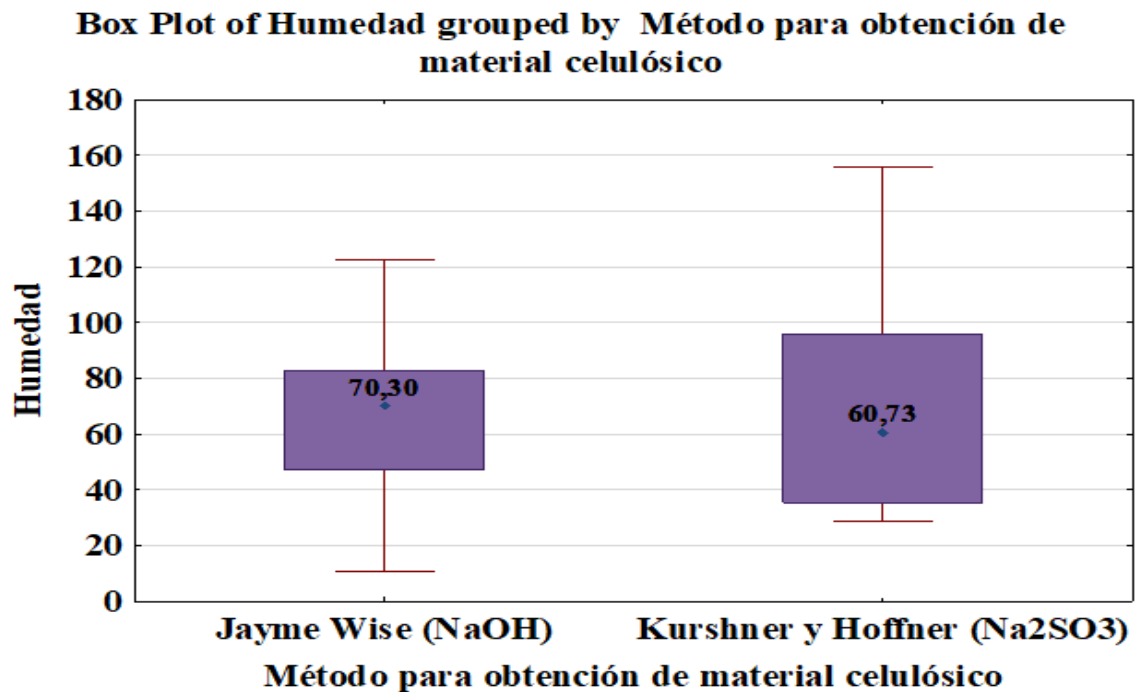
Factor B	Humedad
Método para obtención de material	

celulósico

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 gráfico 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 (2010) estableció que la humedad del papel Kraft oscila en un 8% máximo, Flor y Huatatoa (2020) afirman que la humedad en un papel Kraft medio se rige en un valor de 8,5, Domínguez (2019) 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 el medio químico empleado no influye en el porcentaje de humedad obtenido en el producto final.

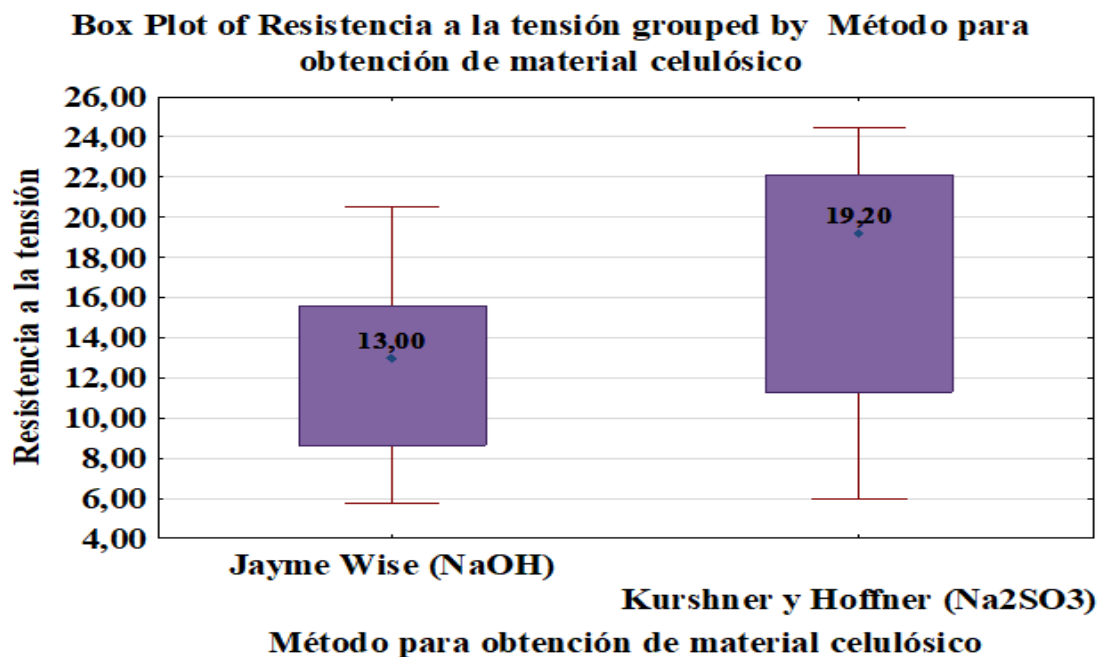
Resistencia a la tensión

Tabla 11: 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	Resistencia
Método para obtención de material celulósico	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 (2010) 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 de Chiluzia y Hernández (2009) 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 (2012) 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

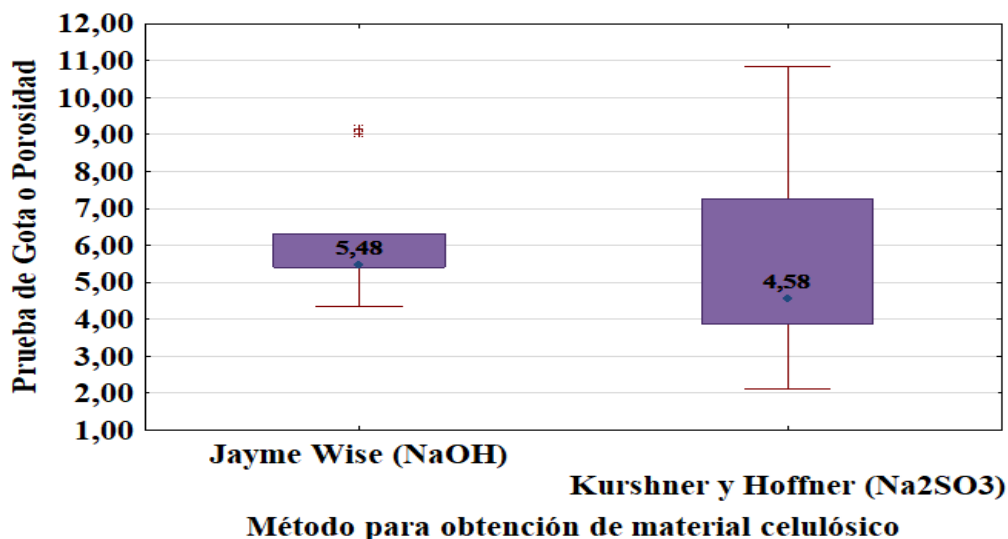
Tabla 12: Resultados de la diferencia entre medias entre método para obtención de material celulósico de la prueba de significación de Tukey referente a Porosidad

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

Fuente: Rendón A. (2021)

Gráfico 2: Grafico de medias referente al factor B y Prueba de Gota o Porosidad

Box Plot of Prueba de Gota o Porosidad grouped by Método para obtención de material celulósico



Fuente: Rendón A. (2021)

Interpretación: El gráfico 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 (2020) el papel más poroso con 17.97 % y menos poroso el papel artesanal de 24.14%, ambos papeles derivan de una pulpa celulósica obtenida a partir de NaOH, también utilizaron Na_2SO_3 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 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.

En la investigación de Pintor (2016) realizó papel mediante pulpeo Kraft los resultados de porosidad fueron 1,800 segundos el valor más bajo y 0,24 el más bajo. 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

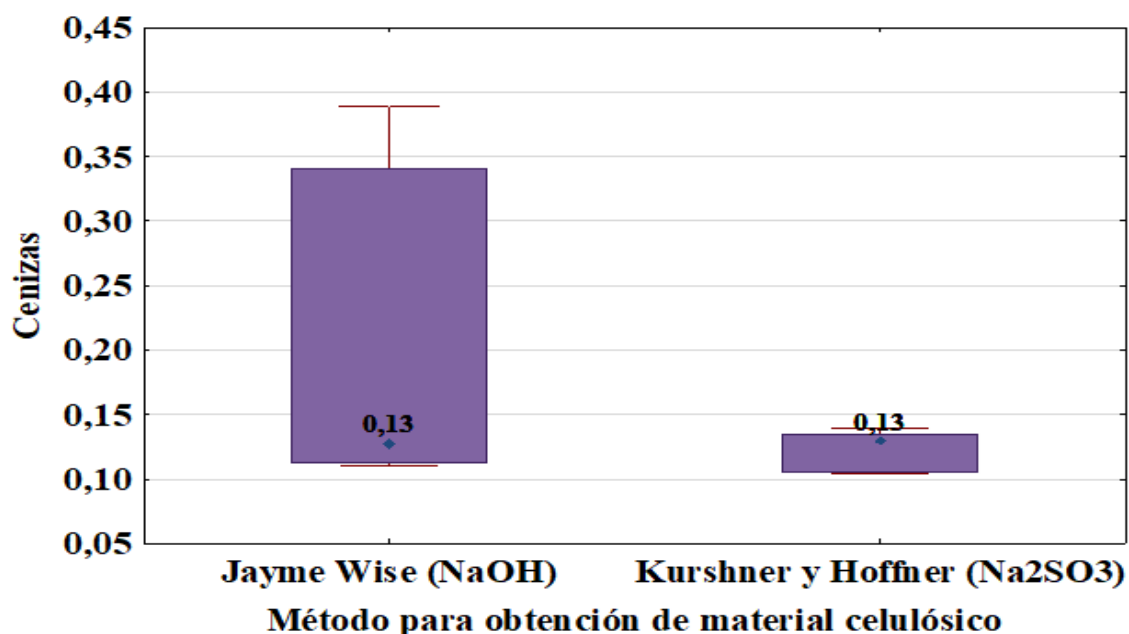
Tabla 11: Resultados de la diferencia entre medias entre método para obtención de material celulósico de la prueba de significación de Tukey referente determinación de cenizas

Factor B	Cenizas
Método para obtención de material celulósico	
Jayme Wise (NaOH)	0,12
Kurshner y Hoffner (Na_2SO_3)	0,20

Fuente: Rendón A. (2021)

Gráfico 3: 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 (2019) 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.

Según (Barros-Bastidas, Turpo, 2020) Estos resultados difieren con la investigación de Flor y Huatatoca (2020) 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 y 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

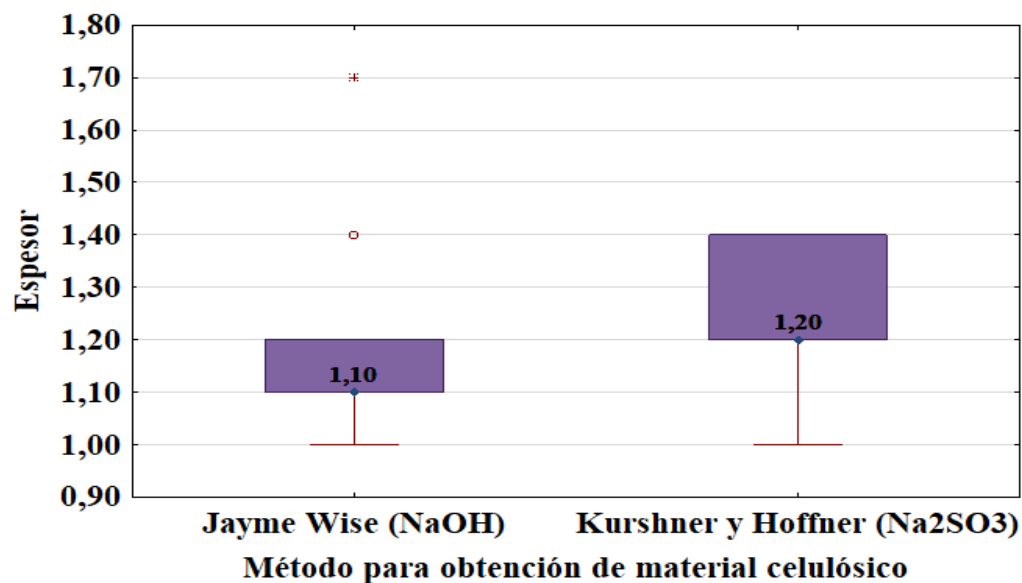
Tabla 14: Resultados de la diferencia entre medias entre método para obtención de material celulósico de la prueba de significación de Tukey referente a determinación de espesor

Factor B	Espesor
Método para obtención de material celulósico	
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 (2010) relata que el espesor ideal de un papel Kraft elaborado con un método químico debe ser 1.8 mm. Fernández (2005) 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 (2017) 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

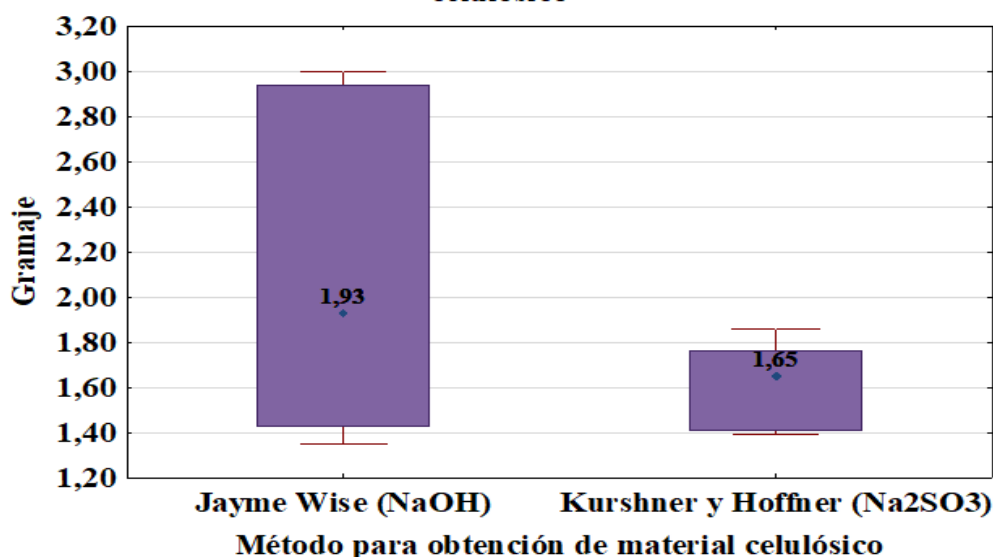
Tabla 15: Resultados de la diferencia entre medias entre método para obtención de material celulósico de la prueba de significación de Tukey referente a determinación de gramaje

Factor B	Gramaje
Método para obtención de material celulósico	
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 (2010) estableció que el gramaje máximo del papel debe ser 79g/m², al utilizar sulfato, sulfito o hidróxido, mientras que Araujo (2011) 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.

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

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

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

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

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

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

Interpretación: El tallo ablandado con NaOH se obtuvo un porcentaje del 80%, 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 Na₂SO₃

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

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 Na₂SO₃

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

Interpretación: El tallo ablandado con Na₂SO₃ obtuvo un porcentaje de rendimiento del 89%, arrojando un 11% de desperdicio. En la pulpa celulósica obtenida a partir de tallo ablandado con Na₂SO₃ el rendimiento fue de un 85,40% esto evidenció que es factible utilizar 1kg de tallo, 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 1: Rendimiento de pulpa celulósica a partir de elote obtenida con NaOH

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

Interpretación: El rendimiento del elote ablandado con NaOH obtuvo un porcentaje del 89%, se arrojó un 11% de desperdicio. En cuanto a la pulpa celulósica el rendimiento fue de un 82,14% esto evidenció que es factible utilizar 1kg de elote, 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

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

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

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

Interpretación: El rendimiento del elote ablandado con Na₂SO₃ obtuvo un porcentaje del 80%, este arrojó un 20% de desperdicio. En cuanto a la pulpa celulósica el rendimiento fue de un 87,23% esto evidenció que es factible utilizar 1kg de elote, la cantidad de hojas obtenidas fueron 6 hojas con un gramaje correspondiente a 41g cada una con medidas correspondientes a 20x25 cm² 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 2: Rendimiento de pulpa celulósica a partir de hojas obtenida con NaOH

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

Interpretación: El rendimiento de hojas ablandadas con NaOH obtuvo un porcentaje del 90%, se obtuvo un 10% de desperdicio. En cuanto a la pulpa celulósica el rendimiento fue de un 88,03% esto evidenció que es factible utilizar 1kg de hojas, la cantidad de hojas obtenidas fueron 8 hojas con un gramaje correspondiente a 30g cada una con medidas correspondientes a 20x25 cm² 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: El rendimiento de hojas ablandadas con Na₂SO₃ obtuvo un porcentaje del 85%, se observó un 15% de desperdicio. Sobre la pulpa celulósica el rendimiento fue de un 88,63% esto evidenció que es factible utilizar 1kg de hojas, 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.

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 el elote se mostró un poco más competitivo.

Conclusiones

El factor a si influye en las características del producto final. Se estableció 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.

Referencias

- Alexandra, D. M. (2019). ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DE LA PIÑA (Ananas). Tesis de grado, Quevedo. Obtenido de <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/4126/3/T-UTEQ-0073.pdf>
- Ángel, R. A., & Georgette, R. A. (2019). Importancia del maíz en la alimentación del ganado doble propósito en el sur del estado de México. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL

ESTADO DE MÉXICO. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO. Recuperado el 10 de Julio de 2021, de <http://hdl.handle.net/20.500.11799/105437>

Angulo Bedon, E. M., & Burgos Villegas, M. M. (2011). 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). Obtenido de https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/3283/AnguloBedon_E%20-%20BurgosVillegas_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ARAUJO, J. F. (2011). REQUERIMIENTOS ESTABLECIDOS POR LAS NORMAS ISO PARA PAPELES PERMANENTES. INFORMACIÓN, CULTURA Y SOCIEDAD(24), 87-96.

Arvizu, J. L. (2011). El cultivo del maíz, temas selectos, 8. Recuperado el 10 de Julio de 2021, de <https://www.ineel.mx/boletin012012/tecni1.pdf>

Aseffe, J. A., Jaén, R. L., Ruiz, L. O., González, A. M., & Lora, E. E. (15 de Enero de 2019). 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*, 39(3). Recuperado el 10 de Junio de 2021, de <https://www.redalyc.org/journal/4455/445560283012/html/>

Bustillos, J. G. (2017). Evaluación de la calidad del cartón obtenido a partir del pseudotallo y raquis de la *musa acuminata cavendish* (banano). Tesis de grado, UTEQ, Quevedo. Obtenido de <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/4110/1/T-UTEQ-0095.pdf>

Barros-Bastidas, C., & Turpo, O. (2020). La formación en investigación y su incidencia en la producción científica del profesorado de educación de una universidad pública de Ecuador. *Publicaciones*, 50(2), 167–185. doi:10.30827/publicaciones.v50i2.13952

Cardoza, C. G., & Perea, H. P. (Octubre de 2006). El maíz: origen, composición y morfología. *Materiales Avanzdos UNAM*(7), 15-20. Recuperado el 24 de Junio de 2021, de <https://www.iim.unam.mx/revista/pdf/numero07.pdf#page=19>

Carlos Ricardo Delgado Villafuerte, K. H. (27 de Diciembre de 2019). Efecto en la resistencia de bloques elaborados con agregados de residuos del cultivo de maíz (*Zea mays*). *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 2(2), 89-98. Recuperado el 12 de Julio de 2021, de <http://ambiente-sustentabilidad.org/index.php/revista/article/view/53/56>

Cervantes, X. (2014). BIOMASA RESIDUAL DEL CULTIVO DE MAÍZ DURO Y SU POTENCIAL ENERGÉTICO EN EL CANTÓN MOCACHE. Tesis de grado, UTEQ, Quevedo. Obtenido de <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/4924/1/T-UTEQ-048.pdf>

- Chiluisa, C. I., & Hernandez, J. (2009). Elaboracion de papel artesanal de caña guadua. tesis de grado, Quito. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1901/1/CD-2457.pdf>
- Danitza, G. V., Dayra, D. R., & Andrea, C. A. (Diciembre de 2016). EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE RESIDUOS SÓLIDOS. *Revista Luna Azul*, 43, 499-517. Recuperado el 10 de Julio de 2021, de <https://www.redalyc.org/pdf/3217/321745921021.pdf>
- Escobar, J. A., & Tobar, G. C. (2017). Obtención de pulpa celulósica a través de hojas de mazorca de maíz para la elaboración de papel blanco. *UTEQ*, Quevedo. Recuperado el 13 de Julio de 2021, de <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/2179/1/T-UTEQ-0022.pdf>
- Escoto García, T., Fernández de Córdova Blas, C. A., Esquivel Rosales, M. E., Rodríguez Rivas, A., & Vargas Radillo, J. (2012). Optimización de Mezclas fibrosas de *Ricinus communis* L y *Triticum sativum* a la Sosa para Papel Corrugado. *Conciencia Tecnológica* (44), 51-55. Recuperado el 2021, de <https://www.redalyc.org/pdf/944/94425393009.pdf>
- Fernandez, L. (2005). Elaboración de cartones a partir de brozas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y paja de Cebada (*Hordeum vulgare* L.). Tesis de grado, Puna.
- Flor, F. P., & Huatatoca, L. S. (2020). 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". Tesis de Grado, Unach, Riobamba. Recuperado el 13 de Julio de 2021, de <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/6567/1/Elaboraci%3fb3n%20del%20papel%20artesanal%20a%20base%20de%20los%20residuos%20vegetales%20de%20los%20tallos%20de%20ma%3adz%20y%20c%3a1scaras%20de%20pl%3a1tano%20utilizando%20los%20m%3a9todos%20q>
- Galindo, G. M. (2017). Obtención de láminas de almidón de maíz termoplástico reforzadas con fibras de agave y evaluación de algunas de sus propiedades. Tesis de grado, Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas. Obtenido de <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/24032>
- García Berfon, L., Armijos-Riofrio, C., Aguilar-Ramírez, S., López Cordova, C., RamírezRobles, J., Calva Luzon, M., & Pogo Tacuri, E. (2021). Estudio de especies no leñosas de la provincia de Loja (Ecuador) como potenciales materias primas para la fabricación de papel artesanal. 22(2). Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-77432021000200003&script=sci_arttext

- García-Berfon, L., Armijos-Riofrio, C., Aguilar-Ramírez, S., López-Cordova, C., Ramírez-Robles, J., Calva-Luzon, M., & Pogo-Tacuri, E. (2021). Estudio de especies no leñosas de la provincia de Loja (Ecuador) como potenciales materias primas para la fabricación de papel artesanal. 22(2). Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-77432021000200003&script=sci_arttext
- García-Berfon, L., Riofrio, C. A., Ramírez, S. A., Cordova, C. L., Robles, J. R., Luzon, M. C., & Tacuri, E. P. (2021). Estudio de especies no leñosas de la provincia de Loja (Ecuador) como potenciales materias primas para la fabricación de papel artesanal. Scielo, 22(2). doi:<https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2021.22.2.011>
- Ginés, S. (2017). Descripción y optimización del uso del cartón en envase y embalaje . Grado de tecnologías industriales, Universidad Zaragoza, Ingeniería de diseño y fabricación, Zaragoza. Obtenido de <https://zagan.unizar.es/record/69875/files/TAZ-TFG-2017-4594.pdf>
- González Velandia, K. D., Daza Rey, D., Caballero Amado, P. A., & Martínez González, C. (2016). VALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS A EMPLEARSE EN LA ELABORACIÓN DE PAPEL. Revista Luna Azul. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/3217/321745921021.pdf>
- Inen. (2013). PAPELES Y CARTONES. ACONDICIONAMIENTO DE MUESTRAS. Quito. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1396.pdf>
- Karen Lizeth Ordoñez Pineda, C. S. (2019). CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DE LOS RESIDUOS DEL PLÁTANO Y EL CAFÉ PARA SU POSIBLE USO COMO MATERIAS PRIMAS EN LA FABRICACIÓN DE PAPEL . Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/24795/Ordo%c3%b1ezPinedaKarenLizethSep%c3%balvedaMonroyCamila2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- L. Reyna, R. R. (2014). «Elaboración de cartón a partir de papel reciclado . Revista Peruana de Química e Ingeniería Química, 50-54. Obtenido de <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/view/4487>
- Martínez, M. P., Hernández, J. A., Aguilar, B. B., Juárez, H. P., Radillo, J. d., & Urquiza, M. R. (2012). Characterization of maize leaves and of sugarcane bagasse to elaborate of a mixed cellulose pulp. Scielo, 18(2012), 37-51. Recuperado el 13 de Julio de 2021, de <http://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v18n3/v18n3a4.pdf>
- Mutjé, P., Méndez, J., Vilaseca, F., López, J. P., & Pèlach, M. (2008). RESIDUOS DE TALLO DE MAÍZ COMO REFUERZO DE POLIPROPILENO. Redisa, 16. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/42023165/RESIDUOS_DE_TALLO_DE_MAZ_COMO_REFUERZO_D20160203-24379-m8std2-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1637108833&Signature=J~q5fi9bRN-

EgtbXqKXmcVlzY3mtMSmtPWPVK6zVmGVy41~P9HfgSCR4PNs92zy0CCvOajN6lil1tJohRosylLEdnxdleq

- P, M., J.A, M., F, V., J.P, L., & Pérez. (2008). RESIDUOS DE TALLO DE MAÍZ COMO REFUERZO DE POLIPROPILENO . Redisa. Recuperado el 13 de Julio de 2021, de <http://www.redisa.net/doc/artSim2008/tratamiento/A18.pdf>
- Pintor, L. F. (2016). Obtención de pulpa celulósica Kraft a partir de Eichhornia crassipes Kunth. Tesis de maestría, Michoacan. Obtenido de http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/213/FITECMA-M-2016-1320.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Quispe, D. C. (2010). EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS QUÍMICAS Y ÓPTICAS DEL PAPEL TIPO GLASSINE OBTENIDO A PARTIR DE FIBRAS DE TOTORA (Schoenoplectus tatora)". Tesis de grado, Puno. Obtenido de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3365/Condori_Quispe_David.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Rios, C. E., & Saavedra, E. G. (2018). 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). Investigación Universitaria UNU, 8(2). Obtenido de <http://revistas.unu.edu.pe/index.php/iu/article/view/1>
- Tapia, N. T., & Velazco, K. G. (2016). Estudio de la aplicación del olote o tusa de maíz para la reducción del color en aguas residuales de la Hilandería Guijarro cantón Guano. Espoch, Riobamba. Obtenido de dspace.unach.edu.ec