

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Agroindustria Alimentaria
Ingeniería en Agroindustria Alimentaria



Proyecto Especial de Graduación

Obtención de pulpa celulósica del tegumento de mango (*Mangifera indica*) de las variedades Keitt y Kent para el desarrollo de platos de un solo uso.

Estudiante

Nahomy Gisselle Pacheco Amaya

Asesores

Jorge Alfredo Cardona, Ph.D.

Herlinda Soto Valdez, Ph. D

Honduras, octubre 2023

Autoridades

SERGIO ANDRÉS RODRÍGUEZ ROYO

Rector

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta

ADELA M. ACOSTA MARCHETTI

Directora del Departamento de Agroindustria Alimentaria

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros.....	5
Índice de Figuras	6
Índice de Anexos.....	7
Resumen	8
Abstract.....	9
Introducción.....	10
Materiales y Métodos.....	13
Ubicación del Estudio.....	13
Diseño Experimental.....	13
Descripción del Estudio.....	13
Materia Prima	14
Fase I. Caracterización del Tegumento	14
Determinación de Humedad.....	14
Obtención y Observación de Fibras de los Tegumentos de Mango	14
Análisis de Espectro Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR).....	16
Fase II. Obtención de Pulpa Celulósica	17
Obtención Preliminar de Pulpa con Proceso Mecánico.....	17
Obtención de Pulpa con Sosa Cáustica.....	17
Tratamiento con Sosa Cáustica y Molido del Tegumento	18
Análisis de Humedad de la Pulpa Celulósica y Rendimiento	18
Análisis de Espectro Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR).....	18
Fase III. Creación y Caracterización del Prototipo	19
Proceso de Desarrollo de Prototipo.....	19
Análisis de Colorimetría	20

Análisis de Resistencia a la Tensión	21
Análisis de Absorción de Grasa	22
Análisis de Absorción de Humedad	23
Análisis Estadístico	24
Resultados y Discusión.....	25
Fase I: Caracterización del Tegumento de mango.....	25
Humedad de los Tegumentos	25
Características de las Fibras	26
Espectros FTIR de los Tegumentos	30
Fase II. Obtención de Pulpa Celulósica	32
Humedad y Rendimiento de la Pulpa Celulósica	32
Espectro FTIR de la Pulpa Celulósica.....	33
Fase III. Creación y caracterización del prototipo.....	34
Color.....	35
Resistencia a la tensión.....	37
Análisis de Resistencia a la Absorción de Grasa	38
Absorción de Humedad	40
Conclusiones	42
Recomendaciones.....	43
Referencias.....	44
Anexos.....	49

Índice de Cuadros

Cuadro 1	Porcentaje de humedad del tegumento de las variedades mango Keitt y Kent.	26
Cuadro 2	Medidas biométricas de las fibras de los tegumento Keitt y Kent.....	27
Cuadro 3	Relaciones biométricas de las fibras de los tegumentos de Keitt y Kent.....	27
Cuadro 4	Tabla de clasificación de coeficiente de flexibilidad.	28
Cuadro 5	Clasificación de coeficiente de rigidez.....	29
Cuadro 6	Clasificación de la relación de Runkel.....	29
Cuadro 7	Porcentaje de humedad de la pulpa celulósica y rendimiento obtenido del proceso con Sosa Cáustica para las variedades Keitt y Kent.	32
Cuadro 8	Resultado de análisis de color de las probetas realizadas con pulpa celulósica Keitt y Kent.	35
Cuadro 9	Resultados obtenidos del análisis de resistencia a la tensión realizado a las probetas rectangulares de pulpa celulósica Keitt, Kent y Pino.....	37
Cuadro 10	Absorción de humedad presentada en prototipos de platos con pulpa celulósica Keitt y Kent.....	40
Cuadro 11	Interpretación de resultados de absorción de agua	41

Índice de Figuras

Figura 1 Proceso de creación de los platos prototipos	20
Figura 2 Ilustración de procedimiento de análisis de grasa (Hubbe y Pruszynski, 2020).	23
Figura 3 Proporción del residuo agroindustrial de mango	25
Figura 4 Fibra de los tegumento de mango observada bajo el microscopio. 1.) Fibra de tegumento Keitt. 2.) Fibra de tegumento Kent; Imagen superior: fibra observada a 5x; imagen inferior: fibra observada a 40x; a) Diámetro de fibra. b) Espesor de pared. C) Diámetro de lumen.....	26
Figura 5 Espectro FTIR del tegumento sin tratar y de las fibras del tegumento de las variedades Keitt y Kent con solución de Franklin	31
Figura 6 Pulpa celulósica obtenida con el tratamiento alcalino. a.) Variedad Keitt b.) Variedad Kent	32
Figura 7 Espectro FTIR de pulpa celulósica de madera de pino y de los tegumento de mango Keitt y Kent.....	33
Figura 8 Comparación de Espectros FTIR de muestras sometidas con solución de Franklin y el tratamiento alcalino.....	34
Figura 9 Proceso de filtrado al vacío de pulpa celulósica. a.) Creación de probetas circulares, b.) Creación de prototipos de platos.....	35
Figura 10 Probetas circulares realizadas para el análisis de color. a.)Keitt, b.)Kent.....	36
Figura 11 Circulo cromático del ángulo de matiz presentado por las probetas de pulpa celulósica Keitt y Kent.	36

Índice de Anexos

Anexo A Diagrama de proceso utilizado para el desarrollo del estudio.	49
Anexo B Ejemplo de los resultados obtenidos del análisis estadístico T student en el estadístico SAS..	
Anexo C Listado de aditivos para mejorar las propiedades de resistencia al agua en materiales de celulosa.....	

Resumen

La producción actual de mango sobrepasa los 50 millones de toneladas que genera co-productos que requieren aprovechamiento y revalorización. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue obtener pulpa celulósica del tegumento de mango proveniente de residuos agroindustriales de las variedades Keitt y Kent para desarrollar platos de un solo uso. El estudio se dividió en tres fases: (1) Caracterización del tegumento de los mangos, midiendo parámetros biométricos de las fibras; (2) obtención de pulpa celulósica con tratamiento alcalino calculando el rendimiento del proceso; y (3) caracterización de los prototipos desarrollados con métodos como TAPPI T559, IMPEE PL020 e ISO 1924-2:2008. Se encontró que los parámetros biométricos de longitud y diámetro de fibras de tegumentos de mango Keitt fue $934\pm 123\ \mu\text{m}$ y $15.57\pm 2.90\ \mu\text{m}$, respectivamente, mientras que para para Kent fue $1,048\pm 163\ \mu\text{m}$ y $18.35\pm 4.25\ \mu\text{m}$. El rendimiento del tratamiento alcalino fue de 41% para Keitt y 46% para Kent. Las propiedades mecánicas de tensión de los prototipos fabricados con la variedad Kent se mostraron superiores a los prototipos desarrollados con la variedad Keitt e incluso mejores a los de pulpa celulósica comercial de pino. Las pruebas de absorción de agua y grasa indicaron que los materiales poseen baja resistencia a estas sustancias. El desarrollo de prototipos mostró un potencial de revalorización de residuos de mango contribuyendo a disminuir el consumo de plásticos de un solo uso. Más estudios deben desarrollarse para mejorar las características de los materiales generados y buscar otras alternativas de aprovechamiento.

Palabras clave: Co-productos hortofrutícolas, material lignocelulósico, revalorización, tratamiento alcalino.

Abstract

Currently, mango production exceeds 50 million tons, which generates co-products that require utilization and revaluation. Therefore, the objective of this study was to obtain cellulosic pulp from mango tegument from agro-industrial wastes of Keitt and Kent varieties to develop single-use dishes. The study was divided into three phases: (1) Characterization of the mango integument by measuring biometric parameters of the fibers; (2) obtaining cellulosic pulp with alkaline treatment by calculating the yield of the process; and (3) characterization of the prototypes developed with methods such as TAPPI T559, IMPEE PL020 and ISO 1924-2:2008. It was found that the biometric parameters of length and diameter of Keitt mango tegument fibers were $934\pm 123\ \mu\text{m}$ and $15.57\pm 2.90\ \mu\text{m}$, respectively, while for Kent they were $1,048\pm 163\ \mu\text{m}$ and $18.35\pm 4.25\ \mu\text{m}$. The alkali treatment yield was 41% for Keitt and 46% for Kent. The tensile mechanical properties of the prototypes made with the Kent variety were shown to be superior to the prototypes developed with the Keitt variety and even better than those with commercial pine cellulosic pulp. Water and grease absorption tests indicated that the materials have low resistance to these substances. The development of prototypes showed potential for revalorization of mango waste, contributing to reducing the consumption of single-use plastics. Further studies should be developed to improve the characteristics of the materials generated and to look for other alternatives for their utilization.

Keywords: Horticultural co-products, lignocellulosic material, revalorization, alkaline treatment

Introducción

El poliestireno es un polímero sintético hecho a base del monómero de estireno, un líquido petroquímico. Fue descubierto por el alemán Eduard Simón en el siglo XIX y es muy utilizado en la producción de platos, vasos y diferentes tipos de envases para alimentos (Plastics Technology México, 2017). Existen diferentes tipos de poliestireno como: poliestireno de alto impacto (HIPS), poliestireno expandido (EPS) y poliestireno cristal (GPPS). El poliestireno es un material que tarda centenares de años en degradarse y aunque se puede reprocesar hasta 20 veces sin perder sus propiedades mecánicas y químicas. El reciclaje de este material debe garantizar el cumplimiento de los estándares de calidad virgen para que no exista la migración de compuestos a los alimentos y no se convierta en un riesgo a los consumidores (Block et al., 2017). Sin embargo, actualmente no existe un sistema de separación de los diversos tipos de plásticos ni la tecnología de reciclaje necesaria, es debido a esto que normalmente esos desechos son incinerados o son enterrados en vertederos, pero no se degradan por completo (Block et al., 2017; Pilar, 2018).

Durante el 2018, se estimó que de 291 millones de toneladas métricas (Mt) de desechos plásticos producidas a nivel mundial, 62 Mt fueron reciclados, 78 Mt fueron incinerados y 151 Mt terminaron, siendo descartadas; además se estimó que el 46% de esos desperdicios, fueron residuos de empaques y envases plásticos, donde casi la mitad de estos acabaron en vertederos, mientras que otros terminaron en diferentes ecosistemas del planeta, fueron incinerados o reciclados (Tsakona et al., 2021). Morales-Caselles et al. (2021) indicaron que del 55 al 80% de la basura proviene de artículos de comida para llevar donde el 9% de estos son desechables de poliestireno.

La contaminación por desechos plásticos tiene un gran impacto en los ecosistemas del planeta, siendo los ecosistemas marinos los más afectados debido que una gran parte de los desechos van a terminar a las costas marinas donde los plásticos se convierten en vectores de patógenos, además, de que generan asfixia de la vida marina, ya que influye en el flujo de oxígeno y nutrientes de los organismos del ecosistema. También existen efectos tóxicos debido a las sustancias químicas

que pueden contener los plásticos y la interrupción de los ecosistemas por partículas de microplásticos que pueden alterar los procesos biológicos de los organismos y que pueden generar mutaciones genéticas (Flores, 2020).

Por causa de las cantidades de desechos que se generan cada año, la dificultad que los plásticos poseen de degradarse por completo y la falta de tecnologías para poder reciclar mayores cantidades de residuos plásticos hace que la necesidad de sustituir estos materiales por objetos hechos a partir de materiales biodegradables como puede ser la pulpa celulósica. En la actualidad, existen diversos reportes acerca del aprovechamiento de residuos agrícolas y alimentarios para la obtención de pulpa celulósica utilizando métodos que tienen la finalidad de separar los polímeros naturales que se encuentran en la materia prima maderable extraída de los troncos de diferentes árboles que se conforman por celulosa, hemicelulosa y lignina (Makhetha, 2016; Pandey, 1999). Aunque a nivel mundial es conocida la producción y obtención de celulosa, principalmente, de materia prima de fuentes maderables, hoy en día los residuos agroindustriales de frutas presentan un alto potencial para utilizarse como materia prima no-maderable en la producción de celulosa. Hoy en día existe una tendencia a la búsqueda de nuevas fuentes de obtención de celulosa la cual contempla aspectos ecológicos y de atención al medio ambiente (Jiménez Muñoz et al., 2017).

El mango (*Mangifera indica* L.) es un árbol frutal originario del sur de la India en Asia que se cultiva desde hace más de 4000 años (Young, 2016). El mango se constituye de un árbol de unos 10-30 metros de altura con tronco cilíndrico. Posee una copa compacta y una raíz pivotante de 6 a 8 metros. Sus hojas son elípticas y lanceoladas. Su fruto es grande y carnoso que posee una sola semilla que están rodeadas de un endocarpio o tegumento fibroso cuando crecen (Huete y Arias, 2007). Este es el fruto tropical con mayor producción a nivel mundial el cual se puede consumir fresco o procesado en diversos productos.

El mango de la variedad Keitt y Kent fueron plantados por primera vez en Florida E.E.U.U. El primero se caracteriza por poseer un fruto con una forma ovalada con una base redonda, el interior

es de un amarillo claro y es una variedad se puede sembrar en condiciones áridas y su temporada de producción es en agosto a octubre. Por otro lado, el fruto del mango de la variedad Kent es de forma ovalada, su interior de color amarillo oscuro o naranja amarillento, su pulpa es firme y jugoso y su temporada de producción es entre julio y agosto. La estructura de estos fruto son muy similares, componiéndose de un 75% de pulpa, 15% de cáscara y un 10% de semilla (Campbell, 1992; Siller-Cepeda et al., 2009).

Las empresas que se dedican a la producción de mango utilizan métodos de conservación del fruto para evitar el desperdicio de estos, entre ellos está la producción de jugos, pulpa congelada, pulpa en puré, concentrado, el fruto deshidratado, etc. Durante estos procesos de conservación o transformación se generan desperdicios que pueden convertirse en subproducto. La generación de estos subproductos que no son aprovechados por la industria agroindustrial, se quedan como elemento de compostaje o desechos que contaminan al ambiente y que exigen una alta demanda biológica de oxígeno por lo que la falta de tratamiento de estos residuos. Generando olores desagradables, contaminación del suelo, crecimiento microbiano y presencia de plagas y enfermedades (García-Mahecha et al., 2022).

La semilla del mango está compuesta por dos partes, la almendra que representa entre el 45-85% de la semilla y tegumento y que en conjunto forman parte del 10- 25% de los desechos (Torres-León et al., 2016). Por este motivo, el objetivo general de este estudio es obtener pulpa celulósica del tegumento de mango (*Mangifera indica*) proveniente de residuos agroindustriales de las variedades Keitt y Kent, para desarrollar platos de un solo uso. Mientras que los objetivos específicos son: Caracterizar el tegumento de cada una de las variedades de mango determinando sus propiedades fisicoquímicas; Evaluar el método de extracción de pulpa celulósica al que el tegumento de ambas variedades de mango fue sometido; y desarrollar prototipos de platos de un solo uso y evaluar sus propiedades físicas.

Materiales y Métodos

Ubicación del Estudio

El estudio se llevó a cabo en el laboratorio de Envases perteneciente a la Coordinación de Ciencia y Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal (CTAOV) del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), ubicado en Carretera Gustavo Enrique Astiazarán, No. 46 Col. La Victoria CP. 83304, Hermosillo, Sonora, México.

Diseño Experimental

Esta investigación es un estudio conjunto a la investigación de la estudiante de doctorado Maribel García Mahecha, quien exploró la aplicación potencial del tegumento de mango Tommy Atkins para la creación de materiales de un solo uso. Para este estudio se utilizó un diseño experimental de comparación de muestras independientes con la finalidad de evaluar el potencial del tegumento de mango de las variedades Keitt y Kent además de definir la existencia de diferencias entre las variedades por lo tanto se definió las siguientes hipótesis:

$$H_0: Keitt = Kent$$

$$H_a: Keitt \neq Kent$$

Además se dividió el estudio en tres fases de investigación (Anexo A)

Fase I: Caracterización del tegumento.

Fase II: Obtención de pulpa celulósica.

Fase III. Creación y caracterización del prototipo.

Descripción del Estudio

La investigación se desarrolló en tres etapas, la primera etapa consistió en la caracterización del tegumento de mango de las variedades Keitt y Kent mientras que la segunda etapa se centró en la obtención de pulpa celulósica del tegumento de mango y por último, en la tercera etapa se realizó el desarrollo de los prototipos de platos de un solo uso junto a la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de estos.

Materia Prima

Los residuos agroindustriales de mango variedades Keitt y Kent utilizados en el estudio como materia prima se obtuvieron de la Planta Fruxo, un agro-parque industrial dedicado al procesamiento de frutas y vegetales en México, ubicado en la Carretera Federal 74 kilómetro 0+300, Cinco de Mayo (El Ciruelo), Tepic, Nayarit. C.P. 63510, Guadalajara, México. El mango fue obtenido en el fin de temporada en el mes de agosto del año 2021 y fueron congelados a una temperatura de -20 °C y transportado al CIAD en Hermosillo, Sonora, México. Posteriormente los residuos fueron descongelados para comenzar la investigación en enero del 2023 y separándolos en cáscara, residual de pulpa y la semilla del mango de cada variedad de mango; asimismo, se tomó y separó la semilla en almendra y tegumento donde este último fue utilizado como la única materia prima de este estudio.

Fase I. Caracterización del Tegumento

Determinación de Humedad

Se llevó a cabo un análisis de humedad al tegumento de las variedades Keitt y Kent mediante el método AOAC 934.01 evaluando la pérdida de peso de la muestra en un horno a una temperatura de 105 °C por un lapso de 24 horas. Para determinar la humedad de los tegumentos de Keitt y Kent se tomó al azar tres tegumentos de cada una de las variedades de mango y se cortó en piezas y se llevó a cabo un triplicado por cada variedad obteniendo un total de seis muestras (Morón et al., 1997). Y se determinó el porcentaje de humedad con la Ecuación 1 (*Food Analysis*, 2017; Mauer y Bradley, 2017).

$$\% \text{ humedad} = \left(\frac{\text{Muestra húmeda} - \text{Muestra seca}}{\text{Muestra Húmeda}} \right) \times 100 \quad [1]$$

Obtención y Observación de Fibras de los Tegumentos de Mango

Se tomó un tegumento de cada una de las variedades de mango y se les aplicó un tratamiento térmico sumergiéndolos en un vaso de precipitado sobre una plancha térmica Thermo Scientific Cimarec SP131325Q (China) por un lapso de dos horas para ablandar el tegumento y simultáneamente, retirar los restos de pulpa que se pudieran encontrar en estos.

Una vez transcurrido el lapso en ebullición, se recortó un rectángulo de 4 cm de largo x 0.5 cm de ancho del tegumento de cada una de las variedades de mango utilizados y se colocaron en tubos de ensayo marcado con la variedad que les correspondía. Se llevó a cabo un método de degradación del material lignocelulósico del tegumento con solución de Franklin (Duan et al., 2017). que se preparó en una botella de vidrio mezclando ácido acético glacial y peróxido de hidrógeno con una concentración 1:2.

Se llenaron los tubos con la muestra de tegumento realizados previamente con la solución preparada hasta cubrir la muestra completamente y se taparon con papel aluminio al cual se le realizó perforaciones con una aguja para facilitar la salida de vapor de la solución y en una plancha térmica se colocó un vaso de precipitado de 1000 ml con agua destilada y se ubicó los tubos de ensayo con la muestra y la solución Franklin a baño María con una temperatura de 60°C hasta que el tegumento se desintegró. Una vez desintegrado el tegumento, se obtuvo una pulpa la cual se filtró con una malla fina formando una hoja la cual se dejó secar y posteriormente se utilizó como muestra para poder caracterizar los parámetros biométricos de las fibras obtenidas.

La caracterización de las fibras se realizó utilizando un microscopio digital marca Olympus Bx51 (Miami, Florida, U.S.A). Se comenzó preparando portaobjetos con una pequeña muestra de la pulpa obtenida con el tratamiento en la solución de Franklin junto con una gota de agua y otra de azul de metileno para teñir las fibras. Se homogenizó la muestra para dispersar las fibras y se colocó un cubreobjetos para comenzar con la observación.

Se hizo uso del objetivo de 5x para observar el largo de las fibras mientras que se utilizó el objetivo de 40x para observar el diámetro de la fibra, grosor de la pared y el diámetro del lumen. Simultáneamente, se anotó la escala de la imagen observada para cada uno de los objetivos utilizados, siendo para 5x una escala de 1.1410 μ por píxel y para las imágenes con el objetivo de 40x una escala de 0.1587 μ por píxel.

Se observó un número de muestra de N=30 de diferentes fibras con ambos objetivos para las dos variedades de mango y se guardó las imágenes observadas para realizar la medición de las imágenes, para esto se hizo uso del programa ImageJ, donde se abrieron las imágenes y se configuró la escala según el aumento utilizado en la fibra.

Con los datos obtenidos de las fibras se determinó los valores de esbeltez, el coeficiente de flexibilidad, el coeficiente de rigidez y la relación de Runkel con el uso de las Ecuaciones 2, 3, 4 y 5, respectivamente.

$$\text{Esbeltez} = \frac{\text{Longitud de la fibra } (\mu)}{\text{Diámetro de la fibra } (\mu)} \quad [2]$$

$$\text{Coeficiente de flexibilidad} = \frac{\text{Diámetro del lumen } (\mu)}{\text{Diámetro de la fibra } (\mu)} \quad [3]$$

$$\text{Coeficiente de rigidez} = \frac{2 \times (\text{Espesor de la pared } (\mu))}{\text{Diámetro de la fibra } (\mu)} \quad [4]$$

$$\text{Relación de Runkel} = \frac{2 \times (\text{Espesor de la pared } (\mu))}{\text{Diámetro del lumen } (\mu)} \quad [5]$$

Análisis de Espectro Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR)

Para el análisis se utilizó un espectrofotómetro FTIR Thermo Fisher Scientific modelo Nicolet iS50 FT-IR (Madison, Wisconsin, Estados Unidos), se realizó el análisis con un número de barrido de 64 por cada muestra y se registró los espectros en formato de transmitancia para inspeccionar los materiales poliméricos y las áreas microscópicas de la muestra generando un espectro con intervalo de 4000 a 500 cm^{-1} (Bhargava et al., 2003). Se analizó la composición molecular presente en los tegumentos de mango de las variedades Keitt y Kent luego de ser expuestos a diferentes tratamientos. Los análisis FTIR se realizaron a una hoja de pulpa mecánica, la cual fue un preliminar para conocer el comportamiento de molienda del tegumento expuesto únicamente a ebullición para ablandar el material. También se evaluó con este método las hojas formadas con las fibras obtenidas con el tratamiento con la solución de Franklin.

Fase II. Obtención de Pulpa Celulósica

Obtención Preliminar de Pulpa con Proceso Mecánico

Se realizó una prueba preliminar de molienda mecánica al tegumento previo al proceso químico con la finalidad de observar el comportamiento del tegumento al ser triturada con un molino de cilindros manual marca Corona. Este proceso se inició tratando el tegumento de mango térmicamente para poder ablandarlo, se utilizó 500 ml de agua en un vaso de precipitado de 1000 ml y sobre una plancha de calor hasta punto de ebullición durante un lapso de una hora. Una vez transcurrido el tiempo se molió el tegumento obteniendo una pulpa la cual se enjuagó y filtró para retirar el exceso de agua. Para formar una hoja con la pulpa, se pesó en una balanza analítica OHAUS Adventurer Pro V264 (Nueva Jersey, Estados Unidos) la cantidad de pulpa necesaria para obtener un gramaje de 100 g/m² utilizando la Ecuación 6 para luego homogenizarla en una licuadora Oster con agua a velocidad baja por 10 segundos para terminar filtrándolo en la malla..

$$\text{Gramaje} \left(\frac{\text{g}}{\text{m}^2} \right) = \frac{\text{pulpa bases seca (g)}}{\text{Área de la malla (m}^2\text{)}} \quad [6]$$

Obtención de Pulpa con Sosa Cáustica

Para la obtención de pulpa celulósica con sosa cáustica se realizó una serie de cálculos matemáticos para determinar el hidro módulo del tratamiento y la cantidad en gramos de hidróxido de sodio (NaOH) a utilizar considerando la base seca del tegumento al momento de realizar los cálculos. Para esto se inició utilizando la Ecuación 7 y la Ecuación 8 para determinar la proporción húmeda y seca del tegumento (*Food Analysis*, 2017; Mauer y Bradley, 2017). Para el diseño del hidro módulo de sosa cáustica se trabajó en un vaso de precipitado de 4000 ml en donde se colocaron los tegumentos de mango junto con agua en una relación peso: volumen de 1:9. Una vez que se realizaron estos cálculos, se determinó el volumen total del agua que estará presente en la solución de NaOH con la Ecuación 9 . Una vez obtenido el dato del volumen de agua total en el hidro módulo, se utilizó la Ecuación 10 para determinar el agua que se agregará al hidro modulo, considerando que el tegumento de mango contiene una proporción de agua en su composición. Para el licor de sosa

cáustica se trabajó con una concentración del 22% de NaOH en relación con el peso del tegumento en base seca, para determinar la cantidad en gramos de NaOH se hizo uso de la Ecuación 11 (Amode y Jeetah, 2021; Jaffur y Jeetah, 2019).

$$\text{Base húmeda} = \text{Tegumento (g)} \times \% \text{ humedad} \quad [7]$$

$$\text{Base seca} = \text{Tegumento (g)} \times (100\% - \% \text{ humedad}) \quad [8]$$

$$\text{Volumen de agua total (ml)} = \text{Base seca (g)} \times \text{relación del hidro módulo} \quad [9]$$

$$\text{Agua a agregar (ml)} = \text{volumen de agua total} - \text{Base humedad} \quad [10]$$

$$\text{NaOH} = \text{Base seca} \times 22\% \quad [11]$$

Tratamiento con Sosa Cáustica y Molido del Tegumento

Una vez determinado el hidro módulo, en un vaso de precipitado de 4000 ml, se colocó el tegumento, el NaOH y el agua a utilizar sobre una plancha térmica en una campana de extracción y se dejó actuar durante 1 hora a partir del inicio de la ebullición del medio. Una vez pasado el tiempo estipulado, se dejó enfriar el tegumento y se procedió a neutralizar el pH de este hasta llegar a un valor neutro. Con un molino de discos artesanal, se molió el tegumento de mango para obtener finalmente la pulpa celulósica. Esta se almacenó en temperatura de refrigeración hasta el momento de su uso para evitar la proliferación de moho.

Análisis de Humedad de la Pulpa Celulósica y Rendimiento

Se realizó el mismo procedimiento descrito en la primera fase de este estudio, para la pulpa celulósica obtenida determinando su porcentaje de base húmeda y base seca. Con la Ecuación 12 se determinó el rendimiento del procesos de tratamiento alcalino al tegumento de varias variedades.

$$\text{Rendimiento}(\%) = \left(\frac{\text{Base seca de la pulpa celulósica obtenida (g)}}{\text{Base seca de tegumento utilizado (g)}} \right) \times 100 \quad [12]$$

Análisis de Espectro Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR)

Con la misma configuración utilizada para el análisis FTIR de la fase I se analizó la composición molecular presente en la pulpa celulósica obtenida de los tegumentos de mango de las variedades

Keitt y Kent, además de pulpa de pino como una referencia comercial. Los análisis FTIR se realizaron con grumos de muestras seca.

Fase III. Creación y Caracterización del Prototipo

Proceso de Desarrollo de Prototipo

Para la creación del prototipo se comenzó realizando discos de un gramaje de 300 g/m². Utilizando la Ecuación 13, que se obtuvo a partir de la Ecuación 6, se determinó la cantidad de pulpa que se necesitaría utilizar al momento de crear los discos con el gramaje deseado. Una vez obtenido el dato de la cantidad de pulpa en base seca necesaria para hacer los discos, se tomó en cuenta que la pulpa tiene un porcentaje de humedad, debido a esto se realizó la Ecuación 14.

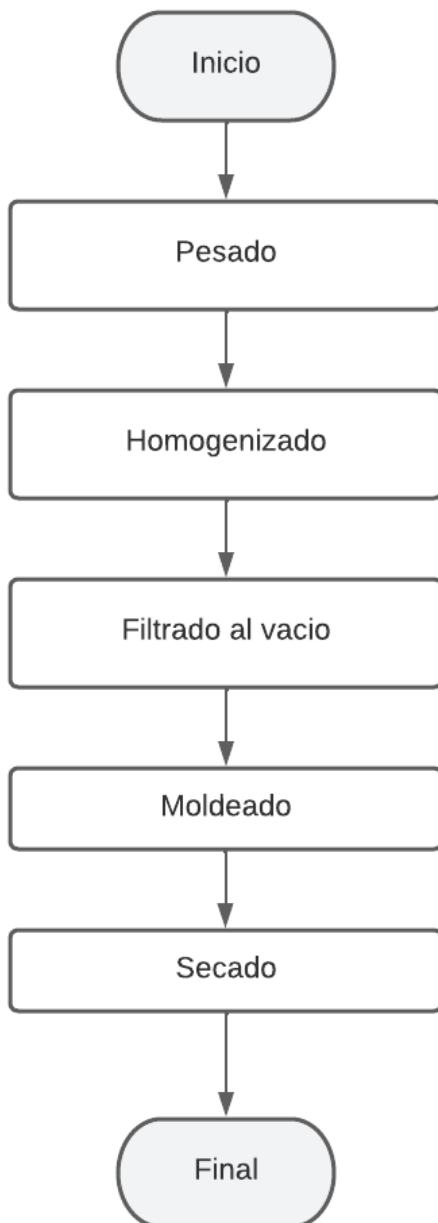
$$\text{Pulpa base seca (g)} = \text{Gramaje deseado} \left(\frac{\text{g}}{\text{m}^2} \right) \times \text{área}(\text{m}^2) \quad [13]$$

$$\text{Pulpa base húmeda (g)} = \frac{(100 \times \text{Pulpa base seca})}{\% \text{ Base Seca de la pulpa}} \quad [14]$$

Con el dato de pulpa en base húmeda listo, se procedió a pesar y a homogenizar en una licuadora la pulpa junto con 250 ml de agua por un periodo total de 30 segundos con intervalos de 10 segundos de homogenizado. Una vez homogenizada la pulpa, en un sistema de filtrado al vacío compuesto por una bomba al vacío Edwards D-79112 Freiburg (Alemania), un matraz Kitasato y un embudo de porcelana para filtrado al vacío, se agregó la mezcla en el embudo con un papel filtro y se encendió la bomba hasta filtrar toda el agua y tener solamente el disco de pulpa en el fondo del embudo. Para obtener el prototipo (plato desechable) se realizó un moldeo por compresión utilizando como molde dos platos metálicos entre 10-12 cm de diámetro. El proceso comenzó con la creación de un disco con el sistema de filtrado, se separó el disco del embudo de filtrado y se acomodó entre uno de los moldes. Con el segundo molde se fue ejerciendo presión suavemente para que el disco tomara la forma y se quedara pegado al primer molde, una vez terminado el moldeo se retiró el segundo molde y se dejó secar cada prototipo a temperatura ambiente por un período de 48 horas (Figura 1).

Figura 1

Proceso de creación de los platos prototipos



Análisis de Colorimetría

Para el análisis se realizaron cuatro probetas circulares para cada una de las pulpas obtenidas, las cuales a cada una de estas se le tomó cinco veces la escala de color. Para esto se trabajó con el colorímetro Konica-Minolta Inc. modelo CR-400 (Osaka, Japón) realizando un análisis de color a

probetas circulares para determinar el color de los prototipos con una escala de color $L^*a^*b^*$ y $L^*C^*H^*$ (Wrolstad y Smith, 2017). Donde: La luminosidad L^* en una escala de 0 a 100, donde 0 representa el negro y 100 blanco; la coordenada a^* , positiva (+) o negativa (—). Donde, las coordenadas positivas representan colores rojizos mientras que la coordenadas negativas representan tonalidades verde; la coordenada b^* , positiva (+) o negativa (—). Donde, las coordenadas positivas representan matices de color amarillo mientras que las coordenadas negativas representan coloraciones azuladas; el valor C^* es el valor croma (*Chroma*), que representa la saturación del color. Este hace referencia a la pureza del color. Un croma alto de indica un color puro o vivaz, mientras que un croma bajo representa colores más pálidos u opacos. Este se calcula con la Ecuación 15 (Boscarol, 2007; Chromaflo Technologies, s. f.) y el valor H o ángulo de matiz es una coordenada polar que se obtiene con la Ecuación 16, este valor representa el HUE y es el tono de color conformado por los colores primarios y secundarios en un círculo cromático y el valor obtenido es el ángulo del color. Por normalización los ángulos de se posicionan en rojo a $0^\circ/360^\circ$, verde primario a 120° , azul a 240° y cerrando nuevamente en el origen del círculo en el color rojo (Almonacid Ramiro, 2012; Boscarol, 2007).

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad [15]$$

$$h = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \times \frac{180}{\pi} \quad [16]$$

Análisis de Resistencia a la Tensión

Se comenzó realizando discos de 300 g/m^2 para cortar probetas de 10 cm de largo y 1.5 cm de ancho las cuales se pesaron previo a realizar el análisis. Se trabajó con un texturómetro de la marca TA.XT plus Texture Analyzer (Inglaterra), utilizando el método ISO 1924 aplicando una carga a la probeta sujeta con dos mordazas por los extremos y ejerce una carga verticalmente hasta que esta ceda ante la fuerza y se rompa. El equipo se calibró con una pesa de 5 kg y en el programa TAXT plus se configuró la velocidad previa de la prueba a 2 mm/min, la velocidad de la prueba a 17 mm/min y una distancia de 7 mm. De cada prueba realizada se tomó el dato de carga de ruptura en kg para

luego calcular la longitud de ruptura, la resistencia a la tensión y el porcentaje de elongación con la Ecuación 17, 18 y 19.

$$\text{Longitud de ruptura (m)} = \frac{\text{Carga de ruptura (kg)} \times \text{largo de probeta de papel (m)}}{\text{Peso de la tira de prueba (kg)}} \quad [17]$$

$$\text{Resistencia a la tensión } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}} \right) = \frac{\text{carga de ruptura (kg)}}{\text{Ancho de la probeta de papel (m)}} \quad [18]$$

$$\% \text{ Enlongación} = \left(\frac{\text{Longitud}_{\text{final}} - \text{Longitud}_{\text{inicial}}}{\text{Longitud}_{\text{inicial}}} \right) \times 100 \quad [19]$$

Análisis de Absorción de Grasa

Para el análisis de absorción de grasa se hizo uso del procedimiento de la prueba TAPPI T559. Esta prueba consiste en un procedimiento para probar el grado de resistencia de la hoja. En este procedimiento se utiliza una serie de reactivos enumerados sobre la muestra, que varían en tensión superficial, viscosidad o agresividad. La solución que cuenta el número más alto sin manchar o deteriorar/traspasar la muestra es la puntuación que se considera es la que será reportada (T 559 cm-12, 2012; SGS-IPS Testing, 2023). Esta prueba se hizo uso de un “kit de soluciones” con 12 diferentes combinaciones de aceite de ricino (g), tolueno (ml) y n-heptano (ml) (Cuadro 1). El procedimiento que se realizó fue recortar muestras de discos de pulpa y se comenzó tomando la solución número 6 del kit de soluciones, y con un gotero a una altura de 1.3 cm se dejó caer una gota de solución en la superficie y midiendo 15 segundos de tiempo de contacto para luego limpiar con un hisopo de algodón el exceso de solución. Inmediatamente se observó el área verificando si hubo cambios (Figura 2). Si la primera prueba se percibía un deterioro o traspaso de la solución al otro lado de la muestra, se procedía a utilizar las soluciones menores, en caso contrario la primera prueba no generó daño a la muestra, se utilizó las soluciones de número mayor. Se repitió el procedimiento con cada una de las combinaciones del kit hasta encontrar la solución que no generara deterioro.

Cuadro 1

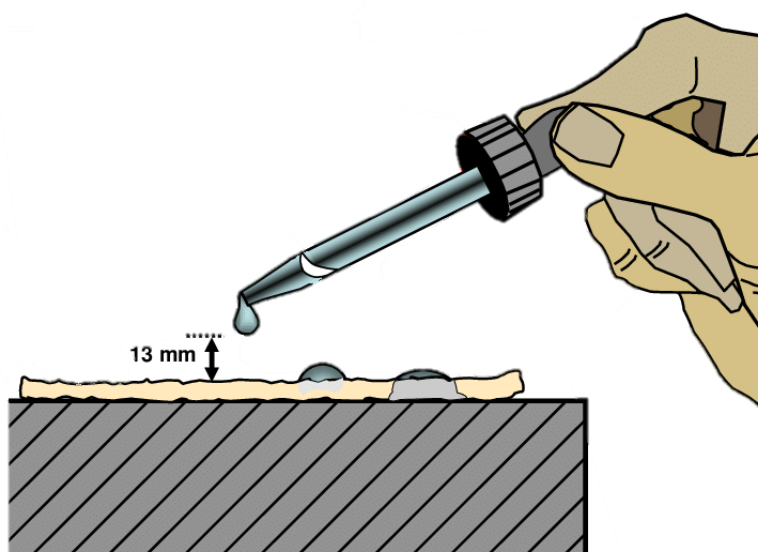
Composición del kit de soluciones para el análisis de resistencia de absorción de grasa para 10 ml.

No.	Aceite de Ricino (g)	Tolueno (ml)	(n-heptano (ml))
1	9.69	0	0
2	8.721	0.5	0.5
3	7.752	1	1
4	6.783	1.5	1.5
5	5.814	2	2
6	4.845	2.5	2.5
7	3.876	3	3
8	2.907	3.5	3.5
9	1.938	4	4
10	0.969	4.5	4.5
11	0	5	5
12	0	4.5	5.5

Nota. Tomado de T 559 cm-12, 2012 (2012)

Figura 2

Ilustración de procedimiento de análisis de grasa (Hubbe y Pruszyński, 2020).



Análisis de Absorción de Humedad

Para el análisis de humedad se utilizó el método de Cobb que busca determinar la capacidad que tiene los materiales de origen celulósico para absorber humedad (IMPEE PL20, 2013). Se comenzó cortando una muestra de prototipo con un diámetro de 8 cm y se tomó el peso inicial de este. Con un cilindro metálico o aparato de Cobb se ajustó en el centro de este cilindro la muestra, se vertió dentro de este 42 ml de agua desionizada y con un cronómetro se midió el tiempo durante un minuto antes

de retirar el agua. Con una pesa de 5 kg, se colocó sobre la muestra dos veces para poder quitar los excedentes de agua que no fue absorbida en el minuto de prueba y se volverá a pesar la muestra para tomar el peso final de este. Para determinar la absorción se utilizará la Ecuación 20 (IMPEE PL20, 2013).

$$\text{Absorción de humedad } \left(\frac{g}{m^2} \right) = \frac{(\text{Peso}_{final} (g) - \text{Peso}_{inicial} (g))}{\text{Superficie expuesta} (m^2)} \quad [20]$$

Análisis Estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el programa SAS®9.4, se realizó de comparación de muestras independientes con un análisis T-student para los resultados de las tres fases del estudio (Anexo B), mientras que para los resultados de análisis de tensión se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) con separación de medias Duncan.

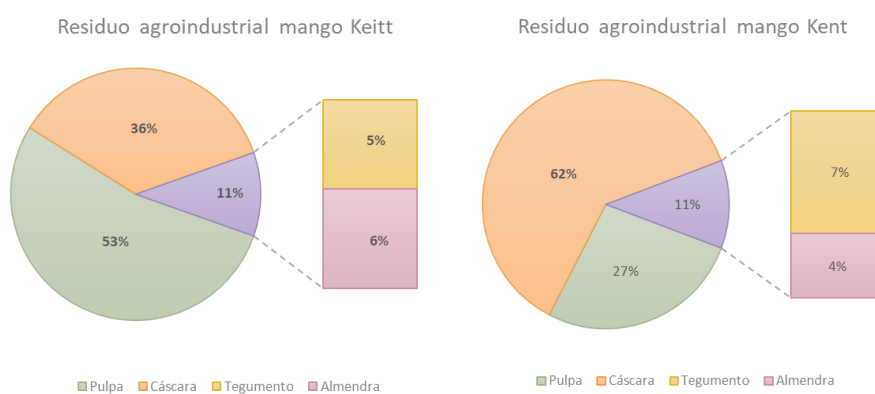
Resultados y Discusión

Para el estudio se obtuvo 10.5 kg de residuos agroindustriales de mango Keitt los cuales se separaron de los componentes que este poseía se encontró que la proporción de estos fue de 53% de residuo de pulpa, 36% de cáscara, 11% de semilla, 6% de almendra y 5% de tegumento. Mientras que en los residuos agroindustriales de mango Kent la cantidad obtenida como muestra fue de 9.8 kg y se encontró que su proporción fue de 62% de cáscara, 27% de residuo de pulpa, 11% semilla, 7% tegumento y 4% de almendra (Figura 3).

En comparación entre ambas variedades, la variedad Keitt salió de la planta despuladora con una mayor cantidad de pulpa, mientras que la variedad Kent poseía mayor proporción de tegumento, que es componente de mayor interés para este experimento, ya que es la materia prima de esta investigación.

Figura 3

Proporción del residuo agroindustrial de mango



Fase I: Caracterización del Tegumento de mango

Humedad de los Tegumentos

Los tegumentos de mango de la variedad Keitt y Kent no se obtuvieron diferencias significativas estadísticamente con una probabilidad de $P < 0.05$ en el parámetro de contenido de humedad (Cuadro 2).

Cuadro 2

Porcentaje de humedad del tegumento de las variedades mango Keitt y Kent.

	Tegumento (%)
Keitt	59.86 ± 3.99
Kent	65.09 ± 2.16
Probabilidad	0.1170

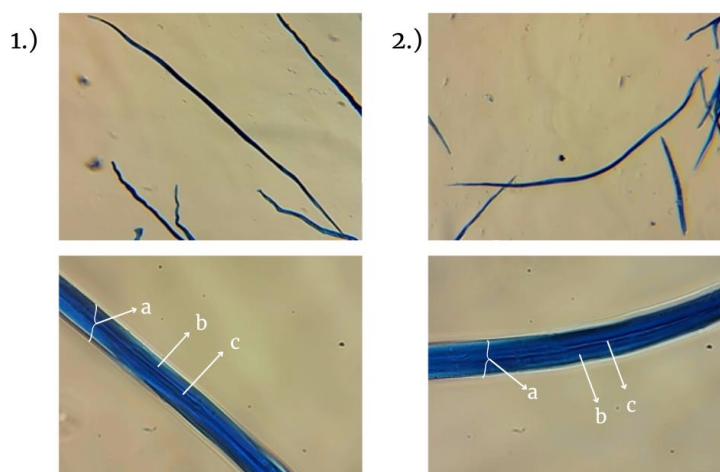
Los tegumentos de mango analizados contaron con una base humedad del 65.09 ± 2.16% para la variedad Keitt, mientras que para la variedad Kent fue de 59.87 ± 3.99%.

Características de las Fibras

Tras la observación de los diferentes componentes de estructura de las fibras de los tegumentos en el microscopio (Figura 4), se procedió con la medición de los parámetros de longitud de fibra, diámetro de fibra y espesor de pared donde se encontró que las medidas encontradas poseyeron diferencias significativas con un $P < 0.05$ entre las variedades Keitt y Kent (Cuadro 3). Por otro lado, el parámetro de diámetro de lumen no se encontraron diferencias significativas entre las variedades analizadas con el mismo nivel de probabilidad antes mencionada.

Figura 4

Fibra de los tegumento de mango observada bajo el microscopio. 1.) Fibra de tegumento Keitt. 2.) Fibra de tegumento Kent; Imagen superior: fibra observada a 5x; imagen inferior: fibra observada a 40x; a) Diámetro de fibra. b) Espesor de pared. c) Diámetro de lumen.



Cuadro 3*Medidas biométricas de las fibras de los tegumentos Keitt y Kent*

	Longitud (μm)	Diámetro (μm)	Espesor de la pared (μm)	Diámetro del lumen (μm)
Keitt	933.89 \pm 122.60	15.47 \pm 2.90	5.73 \pm 1.44	5.06 \pm 1.32
Kent	1047.8 \pm 163.27	18.35 \pm 4.25	7.32 \pm 1.71	5.79 \pm 1.48
Probabilidad	0.0052	0.0088	0.0003	0.2124

Las fibras analizadas en este estudio obtuvieron una longitud de 933.89 \pm 122.60 μm para la variedad Keitt mientras que para la variedad Kent la longitud fue de 1047.86 \pm 163.27 μm . Lo que concuerda con lo reportado por Lima Edla et al. (2021) donde mencionan que las fibras del tegumento de mango pueden llegar a medir hasta 1.05 mm de longitud. Por otro lado, los parámetros biométricos de las fibras de Keitt y Kent para el diámetro de la fibra fue de 15.47 \pm 2.90 μm y 18.35 \pm 4.25 μm y poseían un espesor de pared de 5.73 \pm 1.44 y 7.32 \pm 1.71 respectivamente. El diámetro del lumen fue el único parámetro biométrico que no presentó diferencias significativas siendo para la variedad Keitt de 5.06 \pm 1.32 μ y 5.79 \pm 1.48 μ para la variedad Kent.

La estructura de la fibra brinda características que tienen influencia en su uso en la industria de pulpa y papel. Debido a esto, por medio de las Ecuaciones 2, 3, 4 y 5 fue posible obtener las relaciones biométricas de las fibras, permitiendo tener una idea de las características que la pulpa celulósica podría proporcionar al ser utilizada como materia prima, principalmente en las industrias papeleras. En los parámetros biométricos no tuvieron diferencias significativas entre las variedades analizadas con una probabilidad $P < 0.05$. (Cuadro 4).

Cuadro 4*Relaciones biométricas de las fibras de los tegumentos de Keitt y Kent*

	Esbitez	Coefficiente de flexibilidad	Coefficiente de rigidez	Relación de Runkel
Keitt	62.40 \pm 14.90	0.33 \pm 0.07	0.75 \pm 0.17	2.39 \pm 0.80
Kent	62.40 \pm 14.90	0.30 \pm 0.06	0.80 \pm 0.09	2.62 \pm 0.80
Probabilidad	0.1009	0.9992	0.1033	0.1808

El índice de esbeltez indica la relación de la longitud y el diámetro de las fibras. Entre mayor sea el valor, más correlación tiene con la resistencia mecánica y la rigidez (Tupach et al., 2022). Además

de que es una medida de la propiedad de desgarro de la pasta en la producción de papel (Yez-Espinosa et al., 2004). En la industria papelera consideran que un material fibroso inferior a 70 no es valioso para la producción de papel de calidad (Kiaei et al., 2014; Yez-Espinosa et al., 2004). Los tegumentos de ambas variedades presentaron una esbeltez de 62.40 ± 14.90 . Por lo que se podría asumir que este material está en un punto poco valioso para la industria de elaboración de papel a gran escala, aunque este no es el objetivo de este estudio.

Tupach et al. (2022), mencionan que el coeficiente de flexibilidad de las fibras es un parámetro que puede determinar el grado de unión de las fibras. El coeficiente de flexibilidad obtenido para la variedad Keitt fue de 0.33 ± 0.07 mientras que para la variedad Kent fue de 0.30 ± 0.06 . Según la clasificación del coeficiente de flexibilidad ambos tegumentos de mango poseen una categoría gruesa donde existe poca unión entre las fibras (Cuadro 5).

Cuadro 5

Tabla de clasificación de coeficiente de flexibilidad.

Rango	Categoría	Característica
< 0.30	Muy gruesa	Fibras que no se colapsan. Poca superficie de contacto, pobre unión entre fibras
0.30 a 0.50	Gruesa	Las fibras se colapsan un poco, poca superficie de contacto y poca unión entre fibras
0.50 a 0.65	Media	Las fibras se colapsan un poco, poca superficie de contacto y poca unión entre fibras
0.65 a 0.80	Delgada	Fibras parcialmente colapsadas, con buena sección transversal elíptica, buena superficie de contacto y buena unión entre fibras.
> 0.80	Muy delgada	Las fibras se colapsan, poseen buena superficie de contacto y hay buena unión entre fibras.

Nota. Tomado de Tamarit Urias (1996); Delgado Espinoza y Uribe Torres (2017).

El coeficiente de rigidez tiene es un indicador que se relaciona con la superficie de adherencia entre las fibras y la resistencia que brindará al papel (Mendoza Cisneros et al., 2020). El coeficiente de rigidez obtenido de las fibras del tegumento Keitt y Kent fue de 0.75 ± 0.17 y 0.80 ± 0.09 respectivamente los cuales se clasifican como fibras muy gruesas según la clasificación de este parámetro (Cuadro 6).

Cuadro 6

Clasificación de coeficiente de rigidez

Rango	Clasificación
> 0.70	Muy gruesa
0.70 a 0.50	Gruesa
0.50 a 0.35	media
0.35 a 0.20	delgada
< 0.20	muy delgada

Nota. Tomado de Tamarit Urias (1996); Delgado Espinoza y Uribe Torres (2017).

Finalmente, la relación de Runkel es un parámetro que se utiliza para predecir las propiedades que la fibra puede aportar al momento de la creación de papel (Carrillo et al., 2015). La clasificación de relación de Runkel obtenida de los tegumentos de mango de ambas variedades estas son catalogadas con un grado V que se considera mala para papel (Cuadro 7), pero puede ser útil para otras aplicaciones como los platos desechables.

Cuadro 7

Clasificación de la relación de Runkel.

Grado	Rango	Clasificación
I	< 0.25	Excelente para papel
II	0.25 a 0.50	Muy buena para papel
III	0.50 a 1.00	Buena para papel
IV	1.00 a 2.00	Regular para papel
V	> 2.00	Mala para papel

Nota. Tomado de Tamarit Urias (1996); Delgado Espinoza y Uribe Torres (2017).

Los parámetros previamente descritos definen teóricamente las características de las fibras concluyendo que estas se categorizarían en fibras gruesas y rígidas, esto se puede deber a la función natural del tegumento, cuya finalidad es proteger de daños a la almendra de la semilla y que esta no pierda su capacidad de germinación y supervivencia.

Si bien la discusión de los parámetros descritos anteriormente indica que las fibras son de poca utilidad para la fabricación de hojas de papel no se puede descartar como material base ya que las propiedades de esta se podrían mejorar si se realizaran mezclas de la pulpa de los tegumentos con pulpa celulósica maderable como la de pino o eucalipto en casos de que se desee utilizar en el rubro

papelero. Sin embargo, la creación de papel no es el uso final de esta investigación, los resultados de los parámetros de relación biométrica solamente sirven como una referencia de las posibles propiedades que la pulpa celulósica obtenida de los tegumentos de mangos podría brindar en este rubro. Por esta razón las relaciones biométricas ya discutidas no aplicarían a los prototipos de platos realizados, ya que para estos se utilizó un gramaje de 300 g/m^2 lo cual es muchísimo mayor al gramaje de una hoja de papel promedio. Por este motivo para una mejor referencia de las propiedades mecánicas de la pulpa celulósica al ser utilizada en los prototipos, se llevó a cabo un análisis de tensión que se discutirá más adelante.

Espectros FTIR de los Tegumentos

Las fibras fueron caracterizadas químicamente utilizando FTIR. Petit y Puskar (2018) indican que esta técnica caracteriza materiales químicos a nivel molecular por medio de las interacciones entre las vibraciones de las moléculas junto con la absorción o transmisión de luz infrarroja en los enlaces de unión entre los átomos que forman estas moléculas. Nandiyanto et al. (2019) agregan que los espectros infrarrojos generados se pueden dividir en tres regiones de longitud de onda: infrarrojo Lejano ($<400 \text{ cm}^{-1}$), infrarrojo medio ($4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$) e infrarrojo cercano ($13000 - 4000 \text{ cm}^{-1}$).

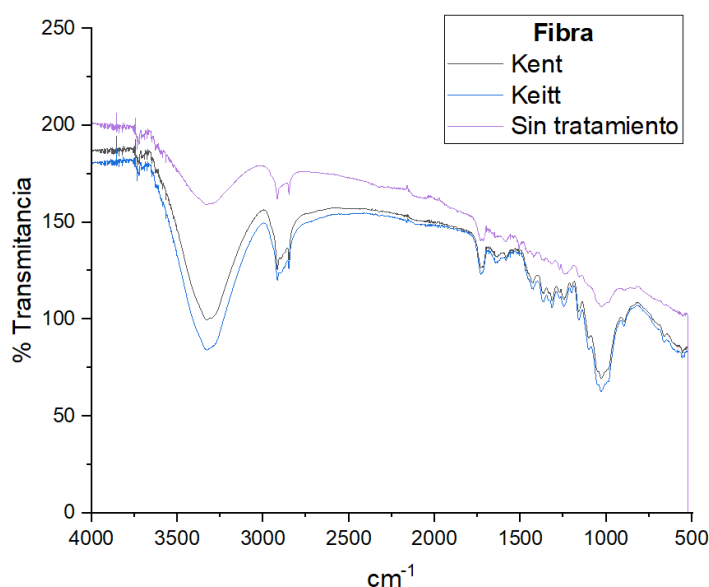
Utilizando el análisis FTIR de espectro infrarrojo medio se dividió las longitudes de ondas en dos zonas para facilitar el análisis del espectro en las frecuencias de grupo correspondidas en la zona entre los 4000 cm^{-1} hasta los 1500 cm^{-1} y la frecuencia de huella digital que se encuentra entre los 1500 cm^{-1} hasta los 600 cm^{-1} .

Se realizó una comparación de los espectros FTIR del tegumento de mango Kent sin tratar junto con las muestras de fibras obtenidas del tegumento con la solución de Franklin a 60°C durante 7 horas y 22 min. (Figura 5).

Se encontró en la región correspondiente de la frecuencia de grupos se puede apreciar una predominante banda ancha entre los 3700 cm^{-1} hasta cerca de los 3000 cm^{-1} esta banda se encuentra ubicada en la región de enlaces simples que según Nandiyanto et al. (2019) esta se extiende entre los 2500 y 4000 cm^{-1} , esta señal nos puede ayudar a caracterizar la celulosa, cuya área de aparición ronda entre los 3600 a 3200 cm^{-1} la cual Contreras et al. (2010) indican que se relaciona con las señales de los enlaces hidroxilos (O-H) de la estructura cristalina de la celulosa. Otra señal en el espectro FTIR que se puede relacionar con la celulosa es la señal cerca de los 1000 cm^{-1} proveniente de los enlaces covalentes (C-O) presentes en la estructura de esta misma (Ilangovan et al., 2020). Cerca de la longitud de onda de 1600 cm^{-1} hay un pico el cual Reddy y Rhim (2018) relacionaron con el grupo carbonilo (C=O) presente en la hemicelulosa y la lignina. Este enlace es de interés de eliminar en el proceso de exposición con el tratamiento alcalino para obtener la pulpa celulósica.

Figura 5

Espectro FTIR del tegumento sin tratar (Kent) y de las fibras del tegumento de las variedades Keitt y Kent con solución de Franklin .

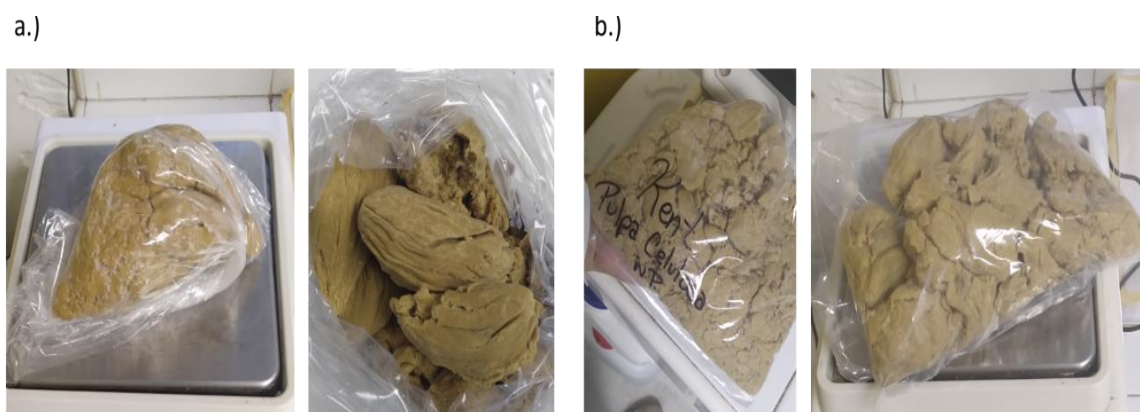


Fase II. Obtención de Pulpa Celulósica

Para la obtención de pulpa celulósica se utilizó 409 g de tegumento de la variedad Keitt y 600 g de la variedad Kent como materia prima, de la cual, tras ser expuestos al tratamiento alcalino se obtuvo 226 g y 402 g de pulpa celulósica de Keitt y Kent respectivamente (Figura 6).

Figura 6

Pulpa celulósica obtenida con el tratamiento alcalino. a.) Variedad Keitt b.) Variedad Kent



Da Silva Júnior y Otávio Brito (2008) mencionan que el tratamiento alcalino utiliza NaOH como agente deslignificador en el material lignocelulósico que actúa hidrolizando las partes amorfas de la celulosa y hemicelulosas que se encuentran presente en las fibras obteniendo celulosa más pura y cristalina que con otros tratamientos (Amel et al., 2013).

Humedad y Rendimiento de la Pulpa Celulósica

Una vez obtenida la pulpa celulósica se calculó el porcentaje de humedad del material y el rendimiento que presentó con el tratamiento alcalino (Cuadro 8).

Cuadro 8

Porcentaje de humedad de la pulpa celulósica y rendimiento obtenido del proceso con Sosa Cáustica para las variedades Keitt y Kent.

	Humedad de la pulpa celulósica (%)	Rendimiento (%)
Keitt	72.41 ± 0.67	41.38 ± 3.22
Kent	73.94 ± 0.77	46.26 ± 3.35
Probabilidad	0.0613	0.1490

El porcentaje de rendimiento en la variedad Keitt fue de 41.38 ± 3.22 mientras que para la variedad Kent el porcentaje fue de 46.26 ± 3.35 donde estadísticamente no existieron diferencias estadísticas con una probabilidad de $P < 0.05$. Así mismo, en el Cuadro 7 se puede observar el porcentaje de humedad que la pulpa celulósica obtenida presentó, siendo un $72.41 \pm 0.67\%$ para la variedad Keitt y $73.94 \pm 0.77\%$ para la variedad Kent donde igualmente no hubo diferencias significativas entre las humedades.

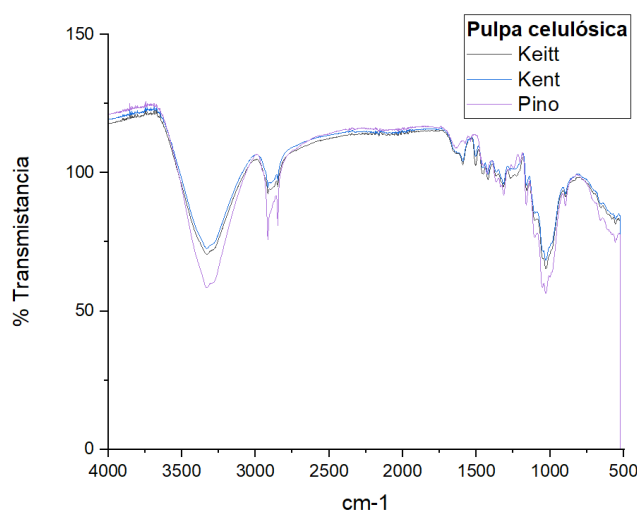
Espectro FTIR de la Pulpa Celulósica

Una vez obtenida la pulpa celulósica se realizó un análisis FTIR a la pulpa celulósica seca y se comparó con la pulpa celulósica de pino para determinar si había diferencias visibles entre las señales de longitud de onda del espectro, que en la actualidad es la materia prima estándar del mercado (Figura 7).

Figura 7

Espectro FTIR de pulpa celulósica de madera de pino y de los tegumento de mango Keitt y Kent.

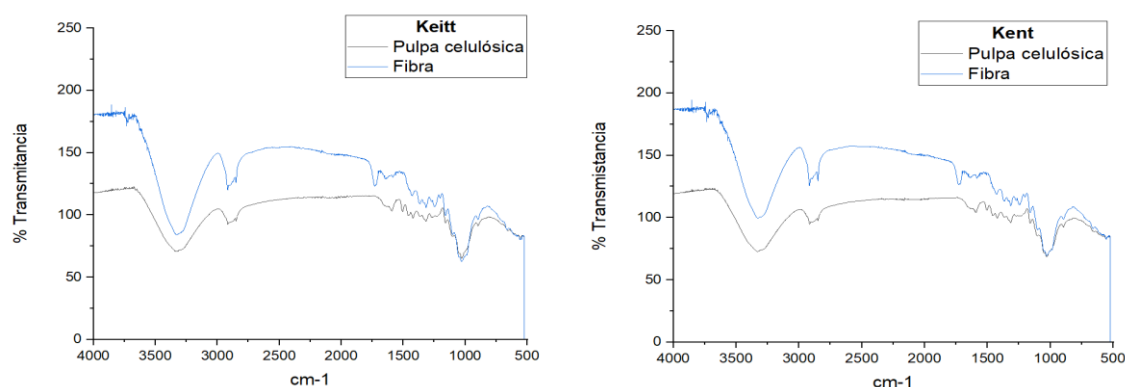
Las señales obtenidas de las tres diferentes pulpas fueron similares entre sí, demostrando que el material obtenido de los tegumentos posee las mismas características que la pulpa de pino utilizada comercialmente.



Para comparar la efectividad del proceso de separación del tejido lignocelulósico se comparó el espectro FTIR obtenido con la muestra de fibra sometida a solución de Franklin junto con una muestra de la pulpa alcalina obtenida (Figura 8).

Figura 8

Comparación de Espectros FTIR de muestras sometidas con solución de Franklin y el tratamiento alcalino.



La señal de la muestra de fibra cercano a los 1600 cm^{-1} se encuentra directamente relacionada con el grupo carbonilo (C=O) de la hemicelulosa y la lignina (Reddy y Rhim, 2018). El hecho de que esta señal desaparezca en el espectro de la muestra de pulpa celulósica demuestra que el tratamiento alcalino degradó los enlaces de lignina y hemicelulosa del material lignocelulósico del tegumento.

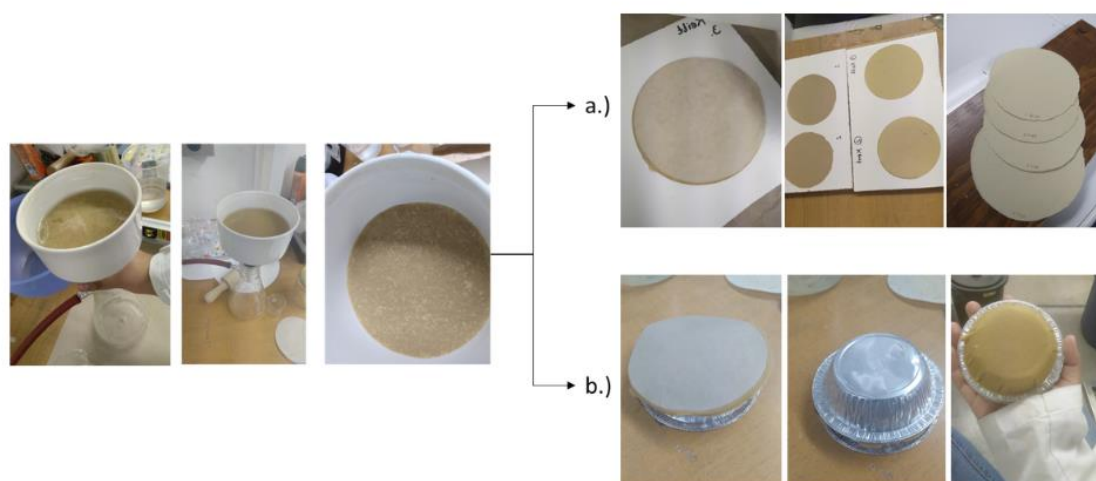
Fase III. Creación y caracterización del prototipo

Una vez obtenida la pulpa celulósica se inició el proceso de creación de las probetas circulares a utilizar para los análisis de las propiedades físicas del material. Como se mostró en el flujo de proceso en la Figura 1 se inició con el pesado y homogenizado de la pulpa celulósica necesaria para crear una probeta de 300 g/m^2 que posteriormente fue filtrada al vacío en un sistema conformado por un matraz de Kitasato, un embudo de porcelana con sello de caucho y una bomba de vacío. Con este sistema se realizaron probetas circulares con un diámetro aproximado de 11.5 cm y un espesor entre 1.2 a 1.8 mm las cuales se les brindó dos opciones de proceso: fueron colocadas a secar sobre una superficie

lisa o se moldearon ubicando el disco húmedo entre dos platos de aluminio para que tomara forma (Figura 9). En ambos casos, se dejó secar el material a temperatura ambiente por 48 horas.

Figura 9

Proceso de filtrado al vacío de pulpa celulósica. a.) Creación de probetas circulares, b.) Creación de prototipos de platos.



Color

Con el análisis de medición de color realizadas a las probetas circulares se obtuvieron los datos numéricos de este parámetro con una escala $L^*a^*b^*$ además del croma y ángulo de matiz (Cuadro 9).

Cuadro 9

Resultado de análisis de color de las probetas realizadas con pulpa celulósica Keitt y Kent.

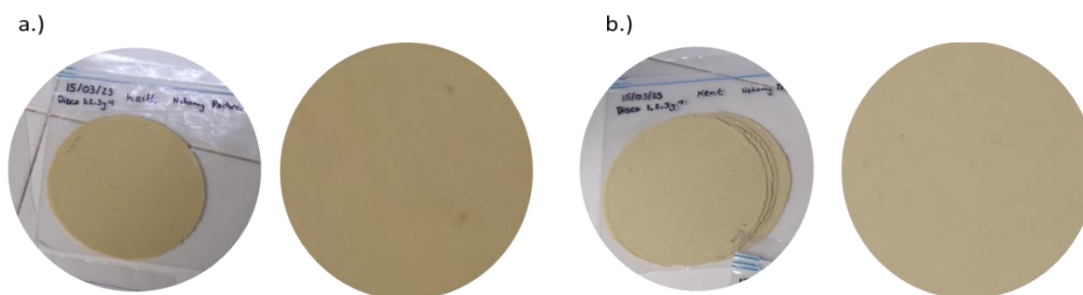
	L^*	a^*	b^*	Croma	Ángulo de matiz
Keitt	76.33 ± 0.25	1.79 ± 0.18	27.72 ± 0.40	27.77 ± 0.41	86.28 ± 0.36
Kent	78.13 ± 0.43	0.52 ± 0.21	22.08 ± 0.43	22.07 ± 0.42	88.10 ± 2.38
Probabilidad	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.0018

En los parámetros de color L^* , a^* , b^* , croma y ángulo de matiz se encontraron diferencias significativas entre la pulpas de ambas variedades de mango ($P < 0.05$). Las probetas que fueron realizadas con la pulpa celulósica de la variedad Kent mostraron un valor L^* de 78.13 ± 0.43 el cual es

mayor al presentado por las probetas realizadas con la variedad Keitt. Siendo la primera de un color ligeramente más claro que la Keitt (Figura 10).

Figura 10

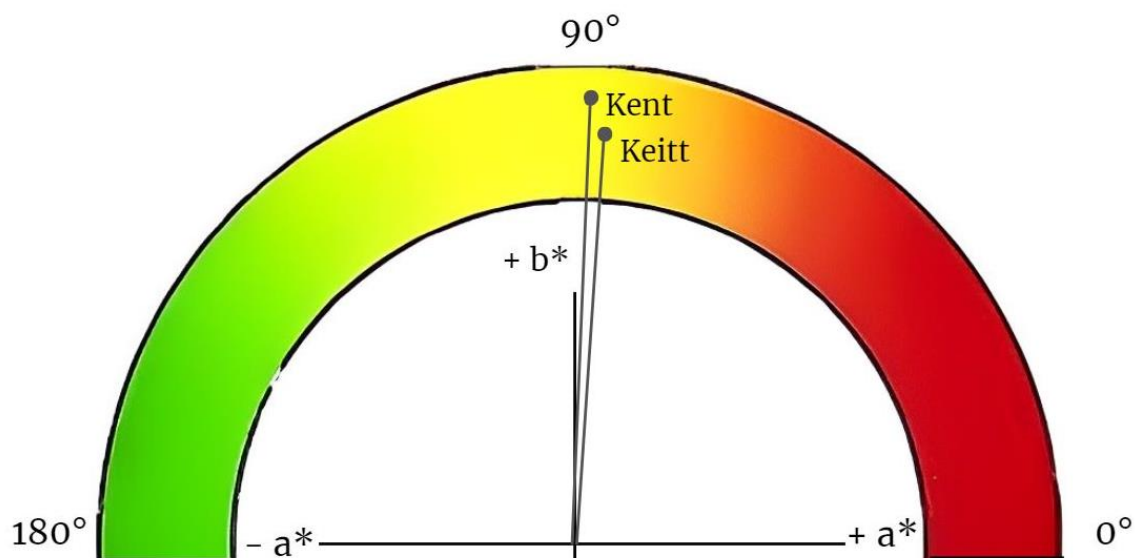
Probetas circulares realizadas para el análisis de color. a.)Keitt, b.)Kent.



Con los resultados obtenidos de los valores de las coordenadas a^* y b^* se calculó el ángulo de matiz con la Ecuación 16. Este valor fue ubicado en un círculo cromático para referenciar la inclinación de color de las probetas realizadas con la pulpa celulósica Keitt y Kent (Figura 11).

Figura 11

Círculo cromático del ángulo de matiz presentado por las probetas de pulpa celulósica Keitt y Kent.



Los ángulos obtenidos mostraron que las probetas que fueron realizadas con la pulpa Keitt fue de 86.28 ± 0.36 , que al ser ubicado en el círculo cromático mostró que estas poseían un color más

inclinado levemente a tonalidades anaranjadas, mientras que las probetas de la variedad Kent presentaron un ángulo de 88.10 ± 2.38 inclinando su color a un amarillo más puro.

Resistencia a la tensión

Para conocer un poco de las propiedades mecánicas que la pulpa celulósica provee al momento de utilizarla en la creación de los prototipos se realizó un análisis de tensión donde se determinó la fuerza máxima de ruptura de las probetas rectangulares, la longitud de ruptura, la resistencia a la tensión y el porcentaje de elongación (Cuadro 10). Se encontraron diferencias significativas en todos los parámetros anteriormente mencionados a un $P < 0.05$.

Cuadro 10

Resultados obtenidos del análisis de resistencia a la tensión realizado a las probetas rectangulares de pulpa celulósica Keitt, Kent y Pino.

	Fuerza (kgf)	Longitud de Ruptura (m)	Resistencia a la tensión (kg/m)	% de Elongación
Keitt	1.27 ± 0.33^c	183.84 ± 59.84^c	84.93 ± 22.55^c	6.80 ± 2.16^b
Kent	3.59 ± 0.64^a	521.00 ± 112.1^a	239.8 ± 42.76^a	9.00 ± 1.78^{ab}
Pino	1.98 ± 0.41^b	270.13 ± 87.65^b	132.4 ± 27.47^b	10.5 ± 3.14^a
C.V	15.75	15.55	15.76	22.81
Probabilidad	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.0428

Nota. C.V: Coeficiente de variación; ^{a,b,c}: promedio en cada columna seguidas de diferente letra minúscula son estadísticamente diferentes

($P < 0.05$)

En el análisis de tensión, el equipo registró la fuerza de tracción longitudinal máxima (kgf) ejercida a las probetas rectangulares con el propósito de determinar su resistencia a la rotura. Al examinar este parámetro se observan diferencias estadísticas significativas entre los tres tipos de probetas analizadas (Becerra Aguilar et al., s. f.). Se descubrió que la variedad Kent requirió de una fuerza de 3.59 ± 0.64 kgf siendo la muestra más fuerte desde la perspectiva estadística. En contraste las probetas de pino necesitaron una fuerza de 1.98 ± 0.41 kgf para romperse, mientras que las muestras de Keitt se rompieron a 1.27 ± 0.33 kgf indicando una menor resistencia en comparación con las de Keitt y pino.

Utilizando las ecuaciones 17 y 18, se calculó la longitud de ruptura y la resistencia a la tensión de las probetas rectangulares. Estos cálculos revelaron la relación entre la fuerza máxima aplicada a las probetas y sus dimensiones de longitud y el ancho. Los resultados de la prueba de tensión indicaron que, en términos de fuerza, longitud de ruptura y resistencia a la tensión, el material Kent superó estadísticamente a los otros dos materiales analizados. Este hallazgo es prometedor, ya que los resultados obtenidos duplicaron a la resistencia del material de pino, que es una referencia comercial en la industria papelera/cartonera. Por otro lado, los resultados de las probetas de material Keitt fueron inferiores. Una posible razón a las diferencias que presentaron el material realizado con la pulpa de ambas variedades de mango se deba a las diferencias encontradas en las medidas biométricas de las fibras de estas (Cuadro 3).

En porcentaje de elongación indica cuánto pudo estirarse la probeta rectangular antes de alcanzar su punto de quiebre. Se observa que las probetas de pino presentaron estadísticamente una mayor elongación en comparación con las de Keitt y Kent. No obstante, la variedad Keitt poseyó el menor porcentaje de estiramiento entre las tres. Además, la variedad Kent se encuentra en un punto intermedio, compartiendo características similares a Keitt y pino. Aunque el porcentaje de estiramiento es menos perceptible en comparación con lo que podría presentar un material plástico, el cual puede llegar a duplicar su longitud original antes de romperse. Es importante notar que las diferencias estadísticas en el porcentaje de elongación entre Keitt y Kent podrían estar relacionadas con el coeficiente de flexibilidad de las fibras mostrado en el Cuadro 3 donde ambas variedades no poseían diferencias significativas entre sí.

Análisis de Resistencia a la Absorción de Grasa

La prueba de resistencia a la grasa por medio del estándar TAPPI T559 utiliza un conjunto de soluciones con diferentes proporciones de aceite de ricino, n-heptano, y tolueno que se enumeran en un total de 12. La solución 1 del conjunto o “kit” de esta prueba se clasifica como la menos agresiva

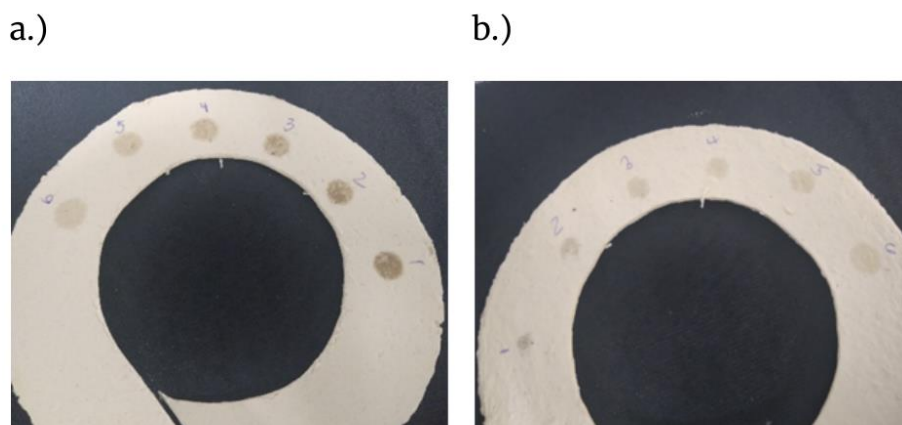
mientras que la solución del conjunto 12 siendo la más agresiva (Ham-Pichavant et al., 2005; Zhong et al., 2019).

El proceso para medir la resistencia a la grasa de los prototipos realizados se comenzó utilizando la solución número 6 según lo indican la metodología. Sin embargo, al notar que la grasa se traspasaba de la muestra se inició a repetir el procesos con las soluciones de menor concentración. Los prototipos de platos realizados con la pulpa celulósica de mango Keitt y Kent al momento de aplicar la prueba mostraron error al intentar con la solución 1, ya que la grasa se filtró rápidamente a través del material en el tiempo estipulado de la prueba (Figura 12). Por este motivo se les asignó a los resultados de la prueba como 0 concluyendo que el material absorbe de manera muy rápida la grasa y que su capacidad de resistirla es prácticamente nula.

Figura 12

Resultado del análisis de absorción de grasa en prototipos. a.) Lado expuesto de la muestra, b.)

Reverso de la muestra.



Cuando se considera el uso de estos platos en la práctica, suponiendo que se destinen a servir alimentos con alto contenido graso, como carnes fritas, pescados o platos con salsas como mayonesa o guacamole, es evidente que los platos tendrían limitaciones. Aunque podrían ser adecuados para

contener estos alimentos durante un corto período, no serían adecuados para almacenarlos durante varias horas debido a su falta de resistencia a la grasa.

Para abordar esta falta de resistencia a la grasa, se podrían considerar algunas soluciones. Por ejemplo, se podría modificar la composición del material de los platos para hacerlo más resistente a la grasa. También se podrían aplicar recubrimientos o tratamientos que proporcionen una barrera eficaz contra la penetración de la grasa. Estos ajustes permitirían que los platos mantengan su integridad y resistencia cuando se utilizan con alimentos grasos, brindando una experiencia de consumo más satisfactoria y práctica para los usuarios.

Absorción de Humedad

La absorción de agua en el papel se refiere a la capacidad que tiene una zona específica del papel para retener agua en un periodo determinado (Jin et al., 2021). Como se puede apreciar en el cuadro 11, los prototipos que se crearon con las pulpas celulósicas de Keitt y Kent fueron sometidos a un análisis de humedad, en el cual se observaron diferencias significativas en los resultados obtenidos con un nivel de confiabilidad del 95% ($P < 0.05$).

Cuadro 11

Absorción de humedad presentada en prototipos de platos con pulpa celulósica Keitt y Kent.

	Absorción de Humedad (g/m ²)
Keitt	2679.9 ± 224.6
Kent	2288.4 ± 143.0
Probabilidad	0.0014

Después de someter los prototipos a la prueba, se observó que la cantidad de agua absorbida fue de 2679.9 ± 224.6 g/m² para la variedad Keitt y de 2288.4 ± 143.0 g/m² para la variedad Kent. Según IMPEE PL20, 2013 (2013) la cantidad de agua absorbida por ambos tipos de prototipos es demasiado alta, superando los 800 g/m², lo que indica que estos artículos de pulpa celulósica contiene un alto contenido de fibra (Cuadro 12).

Este estudio se centró en la creación de los prototipos de pulpa celulósica de tegumento de mango y no se utilizó ningún aditivo que modificara las características de resistencia al agua. Esta materia prima se encuentra en su forma más básica y necesita de más investigación para poder generar un material lo suficientemente hidrofóbico para que se pueda servir en estos platos alimentos con diferentes composiciones.

Una posible estrategia para superar estas deficiencias es realizar formulaciones de la pulpa celulósica con aditivos específicos que mejoren sus propiedades de resistencia de absorción a sustancias como el agua y la grasa. La introducción de aditivos podría hacer más versátil la pulpa celulósica en la industria alimentaria ya que se añadiría una barrera que permita que el plato mantenga su integridad durante un período de tiempo más prolongado y cumpla con su función de contener alimentos de diferentes composiciones (Anexo C).

Cuadro 12

Interpretación de resultados de absorción de agua

Interpretación	Absorción de agua (g/m ²)
Papel con tratamiento contra la humedad	< 100
Papel estándar	300 -400
Papel con alto contenido de fibra.	> 800

Tomado de IMPEE PL20, 2013 (2013)

Conclusiones

Se obtuvo pulpa celulósica de tegumento de semilla de mango variedad Keitt y Kent con la que se elaboraron platos de un solo uso; obteniéndose una extracción exitosa de pulpa celulósica a partir de esta materia prima, obteniendo un rendimiento del 41% para la variedad Keitt y un 46% para la variedad Kent.

Las fibras obtenidas del tegumento de semilla de mango de las variedades Keitt y Kent mostraron que sus propiedades no son aptas para producir hojas de papel, sin embargo, mostraron un gran potencial para utilizarse como materia prima para la elaboración de formulaciones adecuadas para fabricar platos de un solo uso.

Se demostró el potencial de producción de pulpa celulósica aprovechando residuos agroindustriales de mango para la generación de materia prima que puede utilizarse para formular materiales de un solo uso como platos desechables que ofrecen una alternativa sostenible a los platos desechables fabricados de plásticos como el poliestireno que contaminan el medio ambiente.

Los resultados de las propiedades mecánicas que presentaron los prototipos de platos elaborados con la pulpa celulósica de la variedad Kent superaron a los que fueron fabricados con la variedad Keitt e incluso logró superar en algunos parámetros al material comercial de Pino utilizado como punto de referencia.

Los prototipos de platos, independientemente de la variedad de mango utilizada, presentaron una baja resistencia a la absorción de agua y grasa. Indicando que bajo estas condiciones requerirán medidas adicionales o tratamientos para mejorar estas características.

Recomendaciones

Explorar la incorporación de aditivos o materiales complementarios que ayuden a mejorar la durabilidad y utilidad de los platos desechables en el aspecto de la resistencia de la penetración de agua y grasa.

Analizar la sinergia de las mezclas de pulpa celulósica del tegumento de mango con otras pulpas de madera convencional o bagazo de caña para evaluar las mejoras de las propiedades mecánicas y las posibilidades de aplicación.

Realizar análisis de cuantificación de lignina, hemicelulosa y celulosa a tegumento de los mangos para tener un perfil más amplio de las características estas variedades Realizar un análisis de viabilidad como una opción sostenible para la industria tomando en consideración aspectos ambientales, económicos y de calidad del producto final.

Referencias

- Almonacid Ramiro, C. (2012). Descripción del modelo de color HSL (Hue, Saturation, Ligthness). http://guiadigital.uam.es/SCUAM/documentacion/pdfs_a_descargar/color.pdf
- Amel, B. A., Paridah, M. T., Sudin, R., Anwar, U. y Hussein, A. S. (2013). Effect of fiber extraction methods on some properties of kenaf bast fiber. *Industrial Crops and Products*, 46, 117–123. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.12.015>
- Amode, N. S. y Jeetah, P. (2021). Paper Production from Mauritian Hemp Fibres. *Waste and Biomass Valorization*, 12(4), 1781–1802. <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01125-y>
- Becerra Aguilar, B., Barrientos Ramírez, L., Ramírez Casillas, R. y Rentería Urquiza, M. (s. f.). *Procesos para la elaboración de papel Tissue*.
- Bhargava, R., Wang, S.-Q. y Koenig, J. L. (2003). Ftir Microspectroscopy of Polymeric Systems. En *Liquid Chromatography / FTIR Microspectroscopy / Microwave Assisted Synthesis* (pp. 137–191). Springer, Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/b11052>
- Block, C., Brands, B. y Gude, T. (2017). *Materials: Polystyrene For Food Packaging Applications*. ILSI Europe Block,. https://ilsi.eu/wp-content/uploads/sites/3/2018/06/PS-ILSI-Europe-Report-Update-2017_Interactif_FIN-June-2018.pdf
- Boscarol, M. (2007). *El espacio de color L*C*h*. http://www.gusgsm.com/el_espacio_de_color_lch
- Campbell, R. J. (1992). *Mangos: A guide to mangos in Florida*. Fairchild Tropical Garden.
- Carrillo, I., Aguayo, M. G., Valenzuela, S., Teixeira Mendonça, R. y Elissetche, J. P. (2015). Variations in wood anatomy and fiber biometry of *Eucalyptus globulus* genotypes with different wood density. *Wood Research*, 60(1), 1–10. https://www.researchgate.net/profile/isabel-carrillo-varela/publication/277717114_variations_in_wood_anatomy_and_fiber_biometry_of_eucalyptus_globulus_genotypes_with_different_wood_density
- Chromaflo Technologies. (s. f.). *Características del color*. <https://chromaflo.com/es/teoria-del-color/caracteristicas-del-color/>
- Contreras, H., Trujillo, H., Arias, G., Pérez, J. y Delgado, E. (2010). Espectroscopia atr-ftir de celulosa: aspecto instrumental y tratamiento matemático de espectros. *E-Gnosis*, 8, 1–13.
- Da Silva Júnior, F. G. y Otávio Brito, J. (2008). Polpacao. En M. C. Area (Ed.), *Panorama de la industria de celulosa y papel en Iberoamérica 2008* (61 a 102). Red Iberoamericana de Docencia e Investigación en Celulosa y Papel-Riadicypp.
- Delgado Espinoza, C. E. y Uribe Torres, D. A. (2017). *Determinación de la Concentración de Soda Cáustica, Tiempo de Cocción y Tamaño de Partícula, en La Obtención de Pulpa para la*

Fabricación de Papel a Partir de Las Hojas de Caña de Azúcar [Tesis, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo; PE, Lambayeque, Perú]. repositorio.unprg.edu.pe. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/1298>

Duan, L., Yu, W. y Li, Z. (2017). Analysis of Structural Changes in Jute Fibers after Peracetic Acid Treatment. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 12(1), 155892501701200. <https://doi.org/10.1177/155892501701200104>

Flores, P. (2020). The issue of plastic use during the Covid-19 pandemic. *South Sustainability*. Publicación en línea avanzada. <https://doi.org/10.21142/SS-0102-2020-016>

Food Analysis. (2017). Springer, Cham.

García-Mahecha, M., Carvajal-Millan, E., Madera-Santana, T. J., Lomelí-Ramírez, M. G., Colín-Chávez, C., Peralta, E., Val-Félix, L. A. y Soto-Valdez, H. (2022). Oportunidades con potencial para el aprovechamiento de los componentes mayoritarios de residuos agroindustriales de mango. En L. C. Montoya-Ballesteros, M. E. Tiznado-Hernández, T. J. Madera-Santana, J. F. Ayala-Zavala y G. A. González-Aguilar (Eds.), *Tecnología, Ingeniería y Biotecnología de Alimentos de Origen Vegetal: Aprovechamiento de sus Subproductos*. LIBERMEX.

Ham-Pichavant, F., Sèbe, G., Pardon, P. y Coma, V. (2005). Fat resistance properties of chitosan-based paper packaging for food applications. *Carbohydrate Polymers*, 61(3), 259–265. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.01.020>

Hubbe, M. y Pruszynski, P. (2020). Grease proof paper products: A review emphasizing ecofriendly approaches. *BioResources*, 15(1). <https://doi.org/10.15376/biores.15.1.1978-2004>

Huete, M. y Arias, S. (agosto 2007). *Manual para la producción de mango*. La Lima, Cortés, Honduras. USAID. http://www.agrolibertad.gob.pe/sites/default/files/Manual_Producc_Mango.pdf

Ilangovan, M., Guna, V., Prajwal, B., Jiang, Q. y Reddy, N. (2020). Extraction and characterisation of natural cellulose fibers from *Kigelia africana*. *Carbohydrate Polymers*, 236, 115996. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.115996>

Análisis de absorción de humedad (2013).

Jaffur, N. y Jeetah, P. (2019). Production of low cost paper from *Pandanus utilis* fibres as a substitution to wood. *Sustainable Environment Research*, 29(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s42834-019-0023-6>

Jiménez Muñoz, E., Prieto-García, F., Prieto-Méndez, J., Acevedo-Sandoval, O. A. y Rodríguez-Laguna, R. (2017). Obtención de pulpa de celulosa a partir de residuos de *Agave salmiana* B. Otto ex Salm. Optimización. *DYNA*, 84(200), 253–260. <https://doi.org/10.15446/dyna.v84n200.58906>

- Jin, K., Tang, Y., Liu, J., Wang, J. y Ye, C. (2021). Nanofibrillated cellulose as coating agent for food packaging paper. *International Journal of Biological Macromolecules*, 168, 331–338. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.12.066>
- Kiaei, M., Tajik, M. y Vaysi, R. (2014). Chemical and biometrical properties of plum wood and its application in pulp and paper production. *Maderas. Ciencia Y Tecnología(ahead)*, 0. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2014005000024>
- Lima Edla, M. B., Middea, A., Neumann, R., Da Thiré, R. M. S. M., Pereira, J. F., Freitas, S. C., Penteadó, M. S., Lima Aline Muniz, Da Minguita, A. P. S., Da Mattos, M. C., Da Teixeira, A. S., Pereira, I. C. S., Rojas dos Santos, Natália Rodrigues, Marconcini, J. M., Oliveira, R. N. y Corrêa, A. C. (2021). Biocomposites of PLA and Mango Seed Waste: Potential Material for Food Packaging and a Technological Alternative to Reduce Environmental Impact. *Starch - Stärke*, 73(5-6), 2000118. <https://doi.org/10.1002/star.202000118>
- Makhetha, M. R. A. (2016). *Fractionation of Lignocellulosic Biomass for production of materials and chemicals: Fractionation of Lignocellulosic Biomass for production of materials and chemicals* [, Stellenbosch : Stellenbosch University]. scholar.sun.ac.za. <https://scholar.sun.ac.za/items/10e4a838-ac58-4fcf-a860-b24bc3a4504d>
- Mauer, L. J. y Bradley, R. L. (2017). Moisture and Total Solids Analysis. En *Food Analysis* (pp. 257–286). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45776-5_15
- Mendoza Cisneros, J. W., Velásquez Ccosi, P. F. y Gómez Gálvez, Y. (2020). Caracterización estructural, física y química de la fibra de rastrojo de la cosecha de piña (*Ananas comosus*) golden como alternativa para elaborar papel. *INGENIERÍA INVESTIGA*, 2(2), 314–323. <https://doi.org/10.47796/ing.v2i2.408>
- Meza Alfaro, C. Y. (2011). *Aplicación de Aditivo para Papel Plano* [Tesis Profesional]. Universidad Michoacana de San Nicolas Hidalgo, Morelia Michoacan. http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/8053
- Morales-Caselles, C., Viejo, J., Martí, E., González-Fernández, D., Pragnell-Raasch, H., González-Gordillo, J. I., Montero, E., Arroyo, G. M., Hanke, G., Salvo, V. S., Basurko, O. C., Mallos, N., Lebreton, L., Echevarría, F., van Emmerik, T., Duarte, C. M., Gálvez, J. A., van Seville, E., Galgani, F., . . . Cózar, A. (2021). An inshore–offshore sorting system revealed from global classification of ocean litter. *Nature Sustainability*, 4(6), 484–493. <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00720-8>
- Morón, C., Zacarías Isabel y Pablo, S. de (Eds.). (1997). *Producción y Manejo de Datos de Composición Química de Alimentos en Nutrición*. <https://www.fao.org/3/ah833s/Ah833s16.htm>
- Nandiyanto, A. B. D., Oktiani, R. y Ragadhita, R. (2019). How to Read and Interpret FTIR Spectroscopy of Organic Material. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 4(1), 97. <https://doi.org/10.17509/ijost.v4i1.15806>

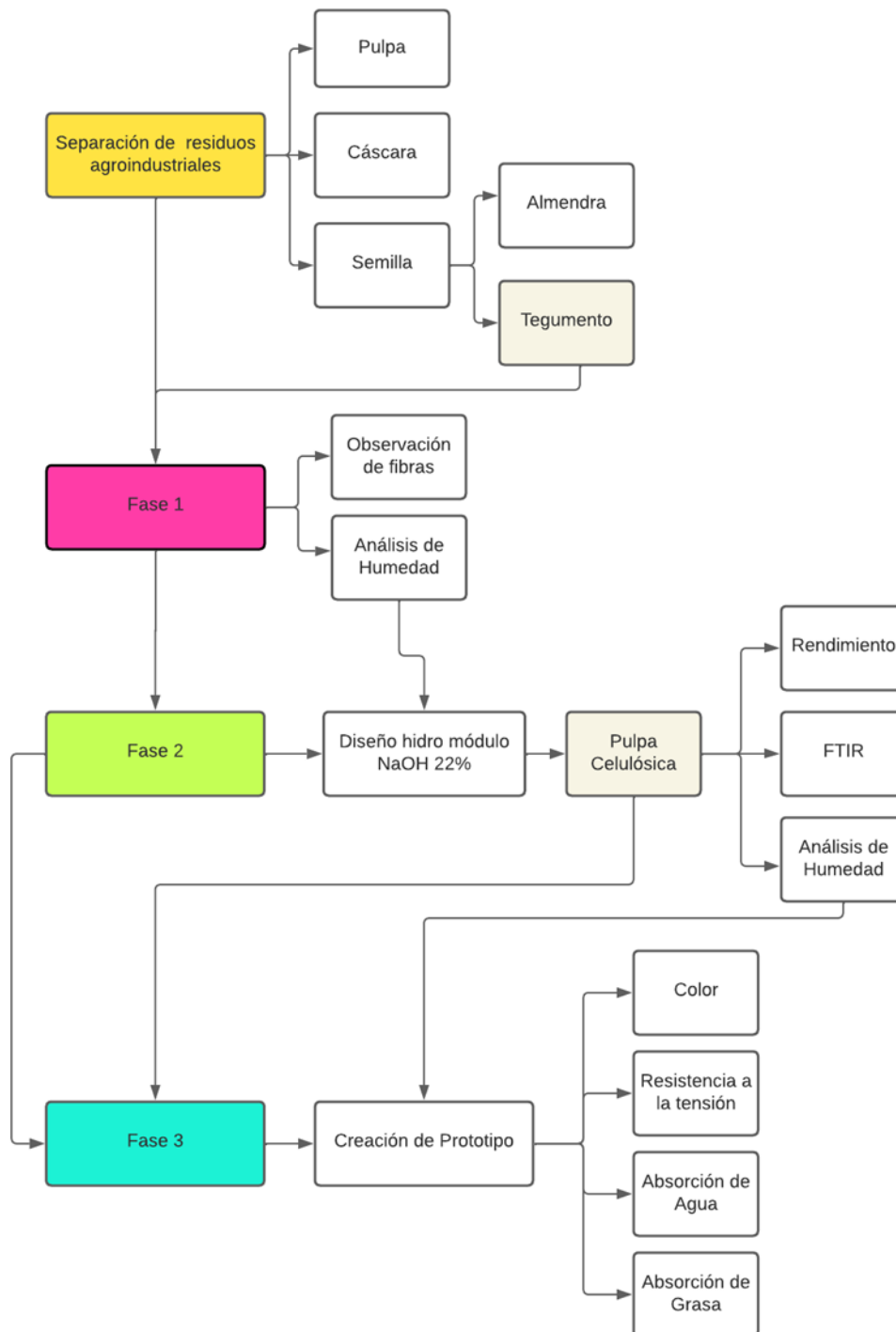
- Pandey, K. K. (1999). A study of chemical structure of soft and hardwood and wood polymers by FTIR spectroscopy. *Journal of Applied Polymer Science*, 71(12). [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4628\(19990321\)71:12<1969::AID-APP6>3.0.CO;2-D](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4628(19990321)71:12<1969::AID-APP6>3.0.CO;2-D)
- Petit, T. y Puskar, L. (2018). FTIR spectroscopy of nanodiamonds: Methods and interpretation. *Diamond and Related Materials*, 89, 52–66. <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2018.08.005>
- Pilar. (2018). *Los cubiertos de plástico tardan 400 años en degradarse - Web Ayuntamiento de Alpedrete*. <https://www.alpedrete.es/los-cubiertos-de-plastico-tardan-400-anos-en-degradarse/>
- Plastics Technology México (2017, 31 de mayo). Termoplásticos: aplicaciones y clasificación del poliestireno (PS). *Plastics Technology México*. <https://www.pt-mexico.com/articulos/detr-s-del-poliestireno-ps>
- Reddy, J. P. y Rhim, J.-W. (2018). Extraction and Characterization of Cellulose Microfibers from Agricultural Wastes of Onion and Garlic. *Journal of Natural Fibers*, 15(4), 465–473. <https://doi.org/10.1080/15440478.2014.945227>
- SGS-IPS Testing. (2023). *TAPPI T 559 Grease resistance (Kit testing) » SGS-IPS Testing*. <https://ipstesting.com/find-a-test/tappi-test-methods/tappi-t-559-grease-resistance-kit-testing/>
- Siller-Cepeda, J., Muy-Rangel, D., Báez-Sañudo, M., Araza-Lizarde, E. y Ireta-Ojeda, A. (2009). Calidad poscosecha de cultivares de mango de maduración temprana, intermedia y tardía. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 32(1), 45–52. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61011105006>
- Tamarit Urias, J. C. (1996). Determinación de los índices de calidad de pulpa para papel de 132 maderas latifoliadas. *Madera y Bosques*, 2(2), 29–41. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61720204>
- Grease resistance test for paper and paperboard (2012).
- Torres-León, C., Rojas, R., Contreras-Esquivel, J. C., Serna-Cock, L., Belmares-Cerda, R. E. y Aguilar, C. N. (2016). Mango seed: Functional and nutritional properties. *Trends in Food Science & Technology*, 55, 109–117. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.06.009>
- Tsakona, M., Baker, E., Rucevka, I., Maes, T., Rosendahl Appelquist, L., Macmillan-Lawler, M., Harris, P., Raubenheimer, K., Langeard, R., Savelli-Sonderberg, H., Ohno Woodall, K., Dittkrist, J., Zwimpfer, T. A., Aidis, R., Mufuta, C. y Schoolmeester, T. (Eds.). (2021). *Drowning in plastics: Marine litter and plastic waste vital graphics*.
- Tupach, S., Kandeel, S., Kherallah, I., El-Saied, H. y Nasser, R. (2022). Potential of using Two Types of Reed for Pulp and Paper Industry. *Alexandria Science Exchange Journal*, 43(3), 373–384. <https://doi.org/10.21608/asejaiqjsae.2022.249611>

- Wrolstad, R. E. y Smith, D. E. (2017). Color Analysis. En *Food Analysis* (pp. 545–555). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45776-5_31
- Yez-Espinosa, L., Terrazas, T., Lopez-Mata, L. y Valdez-Hernández, J. I. (2004). Wood variation in *Laguncularia racemosa* and its effect on fibre quality. *Wood Science and Technology*, 38(3), 217–226. <https://doi.org/10.1007/s00226-004-0228-6>
- Young, E. P. (Ed.). (2016). *Agriculture issues and policies. Mango: Production, properties and health benefits*. Novinka.
- Zhong, L., Ding, Y., Zhang, B., Wang, Z., Li, C., Fu, X. y Huang, Q. (2019). Effect of Octenylsuccinylation of Oxidized Cassava Starch on Grease Resistance and Waterproofing of Food Wrapping Paper. *Starch - Stärke*, 71(7-8), 1800284. <https://doi.org/10.1002/star.201800284>

Anexos

Anexo A

Diagrama de proceso utilizado para el desarrollo del estudio.



Anexo B

Ejemplo de los resultados obtenidos del análisis estadístico T student en el estadístico SAS

The TTEST Procedure

Variable: LARGO

VAR	Method	N	Mean	Std Dev	Std Err	Minimum	Maximum
Keitt		30	933.9	122.6	22.3838	710.5	1127.4
Kent		28	1045.0	166.1	31.3897	782.9	1361.8
Diff (1-2)	Pooled		-111.1	145.2	38.1565		
Diff (1-2)	Satterthwaite		-111.1		38.5532		

VAR	Method	Mean	95% CL Mean		Std Dev	95% CL Std Dev	
Keitt		933.9	888.1	979.7	122.6	97.6403	164.8
Kent		1045.0	980.6	1109.4	166.1	131.3	226.1
Diff (1-2)	Pooled	-111.1	-187.5	-34.6462	145.2	122.6	178.1
Diff (1-2)	Satterthwaite	-111.1	-188.5	-33.6278			

Method	Variances	DF	t Value	Pr > t
Pooled	Equal	56	-2.91	0.0052
Satterthwaite	Unequal	49.519	-2.88	0.0058

Equality of Variances				
Method	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
Folded F	27	29	1.84	0.1119

Anexo C

Listado de aditivos para mejorar las propiedades de resistencia al agua en materiales de celulosa.

Aditivos		
Cargas	Encolados	
<i>Son materiales de relleno que se incorpora para rellenar los huecos entre las fibras para mejorar la impresión.</i>	<i>Se agrega para mejorar la resistencia a la penetración de líquidos, principalmente agua.</i>	
	Tipos	
	Interno o Encolado de Pila	
	Externo o Encolado superficial	
1. Caolín	<i>El material se mezcla con la suspensión de pulpa celulósica en agua.</i>	<i>El material encolante se aplica a la hoja ya formada y parcialmente secada,</i>
2. Talco	1. Resina o Colofonia	Gelatina pura
3. Sulfato de Bario	2. Anhidrido succínico aquenil (ASA): Se utiliza con una emulsión de almidón catiónico para evitar la hidroxilación.	
4. Carbonato de Calcio	3. Dímero de alquil ceteno (AKD): pose mayor rendimiento que las resinas	
5. Sulfuro de Zinc		
6. Carbonato de Magnesio*		
7. Sulfuro de Zinc		
8. Bioxido de Titanio		

Nota. Tomado de Meza Alfaro (2011)