

## Investigación Original

# Desarrollo de platos de un solo uso a partir del tegumento de mango de las variedades Keitt y Kent

Nahomy Pacheco-Amaya 

[ngpa.10.08@gmail.com](mailto:ngpa.10.08@gmail.com)

Estudiante de pregrado

Departamento de Agroindustria Alimentaria

Escuela Agrícola Panamericana Zamorano

Honduras

Maribel García-Mahecha 

[maribel.garciam@hotmail.com](mailto:maribel.garciam@hotmail.com)

Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD).

México

Elizabeth Peralta 

[eperalta@ciad.mx](mailto:eperalta@ciad.mx)

Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD).

México

Jorge Cardona 

[jcardona@zamorano.edu](mailto:jcardona@zamorano.edu)

Profesor Asociado

Departamento de Agroindustria Alimentaria

Escuela Agrícola Panamericana Zamorano

Honduras

Herlinda Soto-Valdez 

[hsoto@ciad.mx](mailto:hsoto@ciad.mx)

Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD).

México

Historial del artículo:

Recibido noviembre 27, 2023. Aceptado julio 1, 2024. Publicado noviembre 15, 2024.

Cómo citar: Pacheco-Amaya, N.; García-Mahecha, M.; Peralta, E.; Cardona, J.; & Soto-Valdez, H. (2024). Desarrollo de platos de un solo uso a partir del tegumento de mango de las variedades Keitt y Kent. *Ceiba*, 57(2), 132-147. <https://doi.org/10.5377/ceiba.v57i2.19069>

**Resumen.** La producción de mango actual sobrepasa los 40 millones de toneladas que genera coproductos que requieren su aprovechamiento y valorización. El objetivo de este estudio fue obtener pulpa celulósica aplicando un tratamiento alcalino al tegumento de mango proveniente de residuos agroindustriales de las variedades “Keitt” y “Kent” para el desarrollo de platos de un solo uso. El estudio se dividió en tres fases: (1) caracterización del tegumento de los mangos, midiendo la humedad y los parámetros morfológicos de las fibras; (2) obtención de pulpa celulósica con tratamiento alcalino; y (3)

caracterización de los prototipos desarrollados con análisis de resistencia a la grasa, capacidad de absorción a agua y propiedades mecánicas. Se encontró que los parámetros morfológicos de longitud y diámetro de fibras del tegumento de mango Keitt fue  $934 \pm 123 \mu\text{m}$  y  $15.57 \pm 2.90 \mu\text{m}$ , mientras que para Kent fue  $1,048 \pm 163 \mu\text{m}$  y  $18.35 \pm 4.25 \mu\text{m}$ , respectivamente. Las propiedades mecánicas de tensión de los prototipos fabricados con la variedad Kent fueron superiores a los de la variedad Keitt y pino (referencia). Las propiedades de resistencia de absorción de agua y grasa que los prototipos presentaron fueron bajas, resaltando la importancia de la investigación continua para mejorar estos aspectos. Sin embargo, el desarrollo de prototipos mostró un potencial de valorización de residuos de mango contribuyendo a disminuir el consumo de plásticos de un solo uso y generación de otras alternativas de aprovechamiento.

**Palabras Clave:** Coproductos hortofrutícolas, material lignocelulósico, tratamiento alcalino, valorización.

## Development of single-use plates from the tegument of Keitt and Kent mango varieties

**Abstract.** Current mango production exceeds 40 million tons, which generates co-products that need to be exploited and valorized. The objective of this study was to obtain cellulosic pulp by applying an alkaline treatment to mango tegument from agroindustrial waste of the “Keitt” and “Kent” varieties for the development of single-use plates. The study was divided into three phases: (1) characterization of the mango tegument, measuring moisture and morphological parameters of the fibers; (2) obtaining cellulosic pulp with alkaline treatment; and (3) characterization of the developed prototypes with analysis of grease resistance, water absorption capacity, and mechanical properties. It was found that the morphological parameters of fiber length and diameter of the Keitt mango tegument were  $934 \pm 123 \mu\text{m}$  and  $15.57 \pm 2.90 \mu\text{m}$ , while for Kent, they were  $1,048 \pm 163 \mu\text{m}$  and  $18.35 \pm 4.25 \mu\text{m}$ , respectively. The tensile mechanical properties of the prototypes made from the Kent variety were superior to those of the Keitt and pine (reference) varieties. The water and grease absorption resistance properties that the prototypes exhibited were low, highlighting the importance of continued research to improve these aspects. However, the development of prototypes showed a potential for the valorization of mango waste, contributing to reducing the consumption of single-use plastics and generating other alternatives for their use.

**Keywords:** Fruit and vegetable co-products, lignocellulosic material, alkaline treatment, valorization.

---

### Introducción

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 para los consumidores (Block et al., 2017).

Por causa de las cantidades de desechos que se generan cada año, se identifica la necesidad de sustituir estos materiales por otros obtenidos a partir de materiales biodegradables como la pulpa celulósica.

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 conformados por celulosa, hemicelulosas y lignina

(Makhetha, 2016; Pandey, 1999). 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, debido a una tendencia que busca nuevas fuentes de obtención de este material que contemplen aspectos más ecológicos (Jiménez Muñoz et al., 2017).

El mango (*Mangifera indica* L.) es un árbol frutal originario del sur de la India, en Asia se cultiva desde hace más de 4000 años (Young, 2016). El fruto es grande y carnoso que posee una sola semilla que está rodeada de un endocarpio o tegumento fibroso (Huete y Arias, 2007). La estructura de este fruto se compone de un 75% de pulpa, 15% de cáscara y 10% de semilla (Campbell, 1992; Siller-Cepeda et al., 2009). La semilla del mango está compuesta por dos partes, la almendra (45-85%) y el tegumento, los que en conjunto forman parte del 10-25% de los desechos (Torres-León et al., 2016).

Las empresas que se dedican a la conservación y transformación de mango no pueden evitar que durante estos procesos se generen desperdicios que no son aprovechados y que se quedan como material de compostaje o desechos que exigen una alta demanda biológica de oxígeno. La falta de tratamiento de estos residuos genera consigo olores desagradables, contaminación del suelo, crecimiento microbiano y presencia de plagas y enfermedades (García-Mahecha et al., 2022).

### Propósito/Objetivos

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 procedimiento seguido incluyó la caracterización de los tegumentos de las dos variedades, el desarrollo y obtención de

los prototipos, y finalmente, la evaluación de las propiedades mecánicas, resistencia a la grasa y capacidad de absorción a agua del material obtenido.

### Metodología

La investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Envases de la Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal (CTAOV) del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) en Hermosillo, Sonora, México. Los residuos agroindustriales fueron proporcionados por una planta agroindustrial ubicada en Nayarit, México. El material fue separado en cáscara, residuos de pulpa y semilla. Esta última se separó en almendra y tegumento, siendo el tegumento la materia prima para la obtención de pulpa celulósica. El estudio se complementó usando como referencia la pulpa celulósica comercial de pino. Como reactivos químicos se emplearon hidróxido de sodio (NaOH), aceite de ricino, n-heptano ( $C_7H_{16}$ ), tolueno ( $C_6H_5CH_3$ ), ácido acético glacial ( $CH_3COOH$ ) y peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ).

### Detección de humedad

El análisis de humedad del tegumento de las variedades Keitt y Kent se realizó 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 h. El porcentaje de humedad se determinó mediante la ecuación 1.

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

### Caracterización de las fibras

Se tomaron muestras de tegumento de un tamaño de 0.5 cm de ancho y 4 cm de largo de ambas variedades de mango, las que se sometieron a un proceso de degradación del material lignocelulósico utilizando una solución de Franklin compuesta por ácido acético glacial

y peróxido de hidrógeno en una relación 1:2 (García-Mahecha et al., 2022). Las muestras se colocaron en tubos de ensayo, para luego ser sumergidas en la solución y se calentaron a 60 °C en un baño María hasta que el tegumento se desintegró formando una pulpa, la cual se filtró y dejó secar por 24 h a temperatura ambiente para su posterior caracterización con un microscopio digital Olympus Bx51 (Miami, Florida, U.S.A). Las fibras obtenidas se tiñeron con azul de metileno cuantificando la longitud con el objetivo de 5x. El diámetro de la fibra, el grosor de la pared y el diámetro del lumen se midieron utilizando el objetivo de 40x. Se visualizaron 30 fibras y se utilizó el programa ImageJ para realizar mediciones digitales, configurando la escala de las imágenes según el aumento utilizado en las mediciones (Rodríguez-Anda et al., 2017).

### Obtención de la pulpa celulósica

Para la transformación del tegumento a pulpa celulósica se utilizó un tratamiento alcalino con hidróxido de sodio (NaOH), posteriormente se neutralizó el pH y el material se molió con un molino de discos artesanal, obteniendo la pulpa celulósica alcalina, la cual se mantuvo almacenada a temperaturas de refrigeración.

### Desarrollo de prototipo

Para la creación de los prototipos, se determinó la cantidad de pulpa celulósica necesaria para producir discos con un gramaje de 300 g/m<sup>2</sup> mediante la Ecuación 2. Se pesó la pulpa y homogenizó en una licuadora con 250 mL de agua utilizando intervalos de 10 seg hasta completar 30 seg para evitar daños en las fibras del material. Una vez homogenizado se realizaron las probetas circulares de la pulpa, para lo que se utilizó un sistema al vacío conformado por un matraz de Kitasato, un embudo de porcelana y una bomba de vacío. La mezcla homogenizada se agregó en el embudo con un papel filtro, se encendió la bomba hasta remover toda el agua y obtener solamente el

disco de pulpa en el fondo del embudo. Para obtener el prototipo (plato desechable) se moldeó por compresión colocando el disco de pulpa entre dos platos metálicos de 9 cm de diámetro ejerciendo presión suavemente para que el disco tomara la forma del plato. Una vez terminado el moldeo se retiró el segundo molde y se dejó secar a temperatura ambiente por un período de 48 h.

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

### Análisis de color

Usando probetas circulares para cada una de las pulpas obtenidas se realizó el análisis de color con el colorímetro Konica-Minolta Inc. modelo CR-400 (Osaka, Japón), generando los parámetros L\*a\*b\*, además del Cromo y el Hue (Wrolstad y Smith, 2017). El parámetro L\* es la luminosidad, la cual se cuantifica en una escala de 0 a 100 (0 representa el negro y 100 blanco). La coordenada a\* puede ser un valor positivo que representan colores rojizos o un valor negativo que representan tonalidades verdes. En la coordenada b\*, los valores positivos representan matices de color amarillo, mientras que, los resultados negativos representan coloraciones azuladas. El valor de Cromo indica la saturación y la pureza del color, donde un valor alto indica un color puro o vivaz, mientras que, un Cromo bajo representa colores más pálidos u opacos. Finalmente, el valor H o Hue es una coordenada polar que representa el tono de color conformado por los colores primarios y secundarios en un círculo cromático. El valor obtenido es el ángulo del color, por normalización los ángulos que se posicionan en rojo a 0°/360°, verde primario a 120°, azul a 240° y cerrando nuevamente en el origen del círculo en el color rojo (Almonacid Ramiro, 2012; Boscarol, 2007). Para el análisis de este parámetro se utilizaron cinco réplicas.

### Análisis de propiedades mecánicas

Para las propiedades mecánicas se analizaron probetas circulares con un gramaje

de 300 g/m<sup>2</sup>, en las cuales se cortaron rectángulos de 10 cm de largo y 1.5 cm de ancho, utilizando el método ISO 1924. Estas muestras se pesaron previo a realizar el análisis para posteriormente calcular con este dato la longitud de ruptura de la probeta (Ecuación 3). El análisis se realizó en un texturómetro de la marca TA.XT plus Texture Analyzer (Inglaterra), aplicando una carga vertical a la probeta, sujeta con dos mordazas por los extremos hasta el rompimiento de la probeta. El

$$[3] \quad \text{Longitud de ruptura (m)} = \frac{\text{Carga de ruptura (kgf)} \times \text{largo de probeta de papel (m)}}{\text{Peso de la tira de prueba (kgf)}}$$

$$[4] \quad \text{Resistencia a la tensión } \left(\frac{\text{kgf}}{\text{m}}\right) = \frac{\text{carga de ruptura (kgf)}}{\text{Ancho de la probeta de papel (m)}}$$

$$[5] \quad \text{Elongación (\%)} = \left(\frac{\text{Longitud}_{\text{final}} - \text{Longitud}_{\text{inicial}}}{\text{Longitud}_{\text{inicial}}}\right) \times 100$$

### Resistencia a la absorción de grasa

Para el análisis de absorción de grasa se utilizó del procedimiento de la prueba TAPPI T559, el cual emplea una serie de reactivos numerados sobre la muestra, que varían su nivel de viscosidad. Se preparó un “kit de soluciones” con 12 diferentes combinaciones de aceite de ricino (g), tolueno (mL) y n-heptano (mL) (Anexo A). La solución que corresponde al número más alto sin manchar o deteriorar/traspasar la muestra es la puntuación que fue reportada (T 559 cm-12, 2012; TAPPI T 559, 2023). El procedimiento fue tomar una muestra de discos de pulpa añadiendo inicialmente la solución número 6 del kit con un gotero a una altura de 1.3 cm, dejando caer una gota de la solución en la superficie y midiendo 15 seg de tiempo de contacto; el excedente se limpió con un hisopo de algodón. Pasados los 15 seg, se observó el área verificando si hubo cambios visuales. Si en la primera prueba se percibía un deterioro o traspaso de la solución a través de la muestra, se procedía a utilizar las soluciones menores. En caso contrario, si la primera prueba (solución 6) no generaba daño,

equipo se calibró con una pesa de 5 kg y se configuró la velocidad previa de la prueba a 2 mm/min, la velocidad de la prueba a 17 mm/min y a una distancia de 7 mm. Para este procedimiento se utilizaron seis réplicas tomando de cada prueba realizada el dato de carga de ruptura en kgf para luego calcular la longitud de ruptura, la resistencia a la tensión y el porcentaje de elongación con las ecuaciones 3, 4 y 5.

se procedía a utilizar las soluciones de número mayor. Se repitió el procedimiento con cada una de las combinaciones del kit hasta encontrar la solución que no generara el traspaso de la solución sobre el material. Este procedimiento se replicó ocho veces.

### Absorción de humedad

Para el análisis de absorción de humedad se utilizó el método de Cobb<sub>60</sub> que busca determinar la capacidad que tienen los materiales de origen celulósico para absorber agua (TAPPI T441, 2012). Se comenzó cortando una muestra de prototipo con un diámetro de 8 cm y se tomó el peso inicial de este. La muestra se ajustó en el centro de un cilindro metálico o aparato de Cobb, vertiendo dentro de este 42 mL de agua desionizada y cronometrando 1 min antes de retirar el agua. Una pesa de 5 kg se pasó dos veces sobre la muestra para poder quitar el agua excedente que no fue absorbida en el minuto de la prueba. La muestra se volvió a pesar para tomar el peso final. Para el análisis se realizaron ocho repeticiones determinando la absorción de humedad con la Ecuación 8.

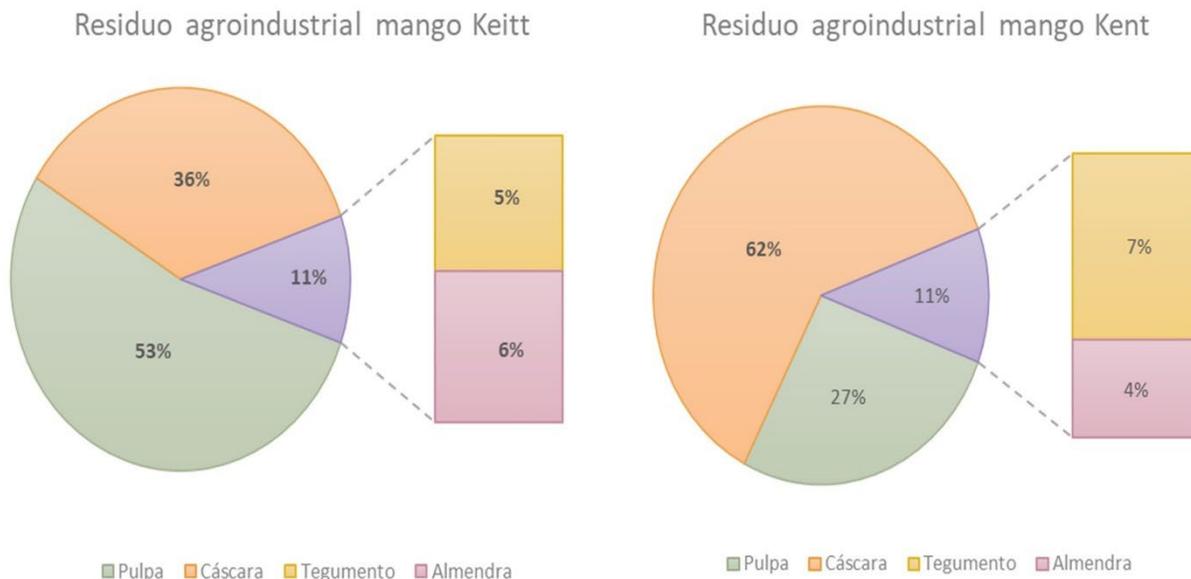
$$[8] \text{ Absorción de humedad } \left( \frac{g}{m^2} \right) = \frac{[\text{Peso}_{\text{final}}(g) - \text{Peso}_{\text{inicial}}(g)]}{\text{Superficie expuesta}(m^2)}$$

### Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el programa estadístico SAS®. Se realizaron comparaciones de muestras independientes con un análisis t-student en los parámetros morfológicos. Para las propiedades mecánicas se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con separación de medias Duncan y análisis de estadísticas descriptivas básicas. Todos los resultados se presentan como medias ± desviación estándar.

**Figura 1.**

Proporción de los residuos agroindustriales de mango Keitt y Kent.



La variedad Keitt salió de la planta despulpadora con una mayor cantidad de pulpa, mientras que la variedad Kent poseía mayor proporción de tegumento, que es el componente de mayor interés para este experimento, ya que es la materia prima de esta investigación.

### Humedad del tegumento

El Cuadro 1 muestra que los tegumentos de mango Keitt y Kent presentaron 59.86 y

## Resultados y Discusión

### Composición de los residuos

Se obtuvieron 10.5 kg de residuos agroindustriales de mango Keitt, los cuales se separaron en 53% de residuo de pulpa, 36% de cáscara y 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 27% de residuo de pulpa, 62% de cáscara, 11% semilla (7% tegumento y 4% de almendra). Figura 1.

65.09 % de humedad, respectivamente, sin diferencias significativas (P < 0.05).

**Cuadro 1.**

Contenido de humedad en tegumentos de mango variedades Keitt y Kent.

	Humedad (%) <sup>ns</sup>
Keitt	59.86 ± 3.99
Kent	65.09 ± 2.16
Probabilidad	0.1170

<sup>ns</sup> Sin diferencias significativas a un  $P < 0.05$ .

**Parámetros morfológicos de las fibras**

La longitud de las fibras, diámetro de fibra y espesor de pared mostraron diferencias significativas con un  $P < 0.05$  entre las variedades Keitt y Kent (Cuadro 2). Por otro lado, el parámetro de diámetro de lumen no mostró diferencias significativas entre las variedades analizadas con el mismo nivel de probabilidad antes mencionada.

**Cuadro 2.**

Medidas biométricas de las fibras de los tegumentos de mango Keitt y Kent.

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

**Obtención de pulpa celulósica**

La figura 2 muestra el aspecto de las pulpas celulósicas obtenidas de los tegumentos de mango de las variedades Keitt y Kent.

**Figura 2.**

Pulpa celulósica obtenida de tegumento de mango variedad Keitt (izquierda) y Kent (derecha).



**Creación del prototipo**

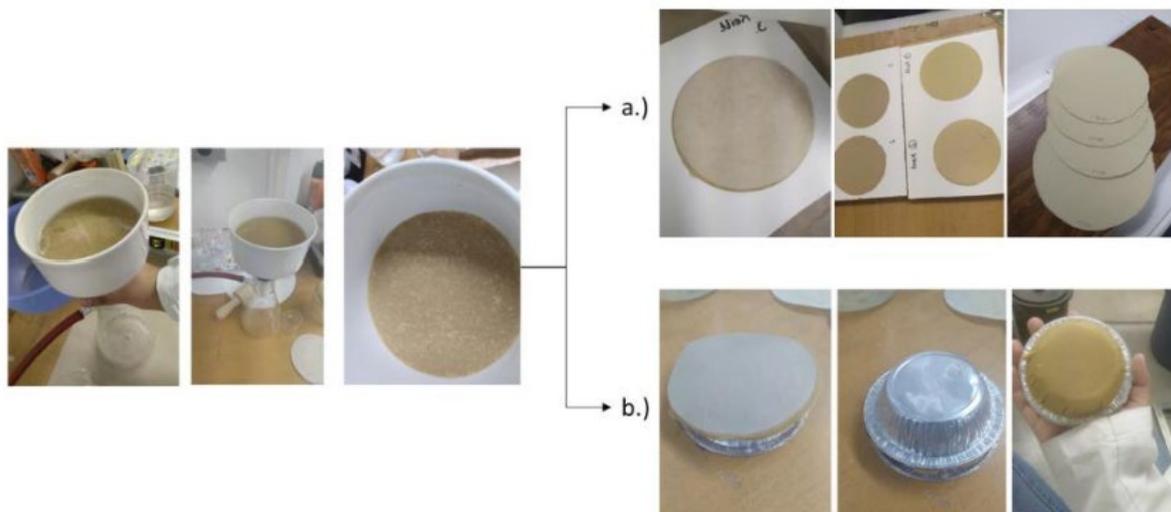
Después de utilizar el sistema en vacío para realizar las probetas circulares, se obtuvieron círculos con diámetro aproximado

de 11.5 cm y espesor entre 1.2 a 1.8 mm. Las probetas se sometieron a dos condiciones de secado: se colocaron sobre una superficie lisa para producir círculos rígidos o se moldearon

ubicando el disco húmedo entre dos platos de aluminio para obtener platos de pulpa celulósica (Figura 3). En ambos casos, el material se dejó secar a temperatura ambiente por 48 h.

**Figura 3.**

Proceso de filtrado de pulpa celulósica. a) Creación de probetas circulares (discos). b) Creación de prototipos de platos



**Análisis de color**

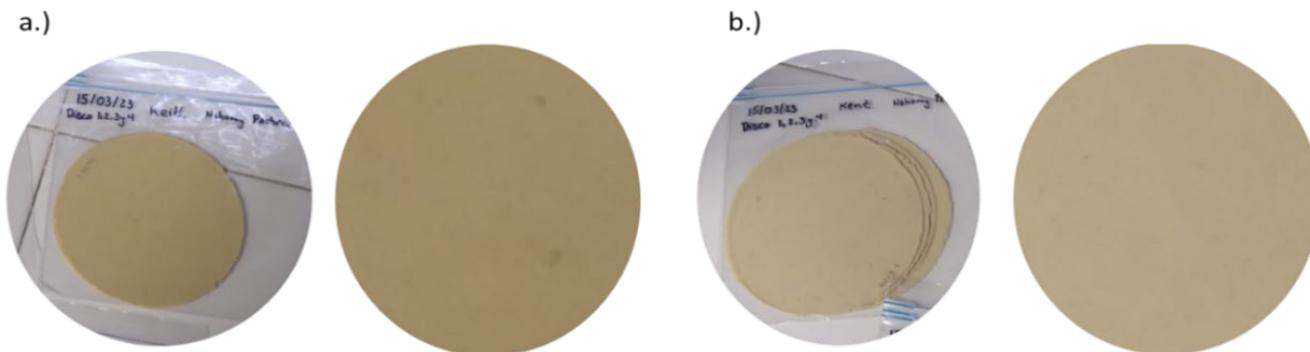
El cuadro 3 muestra los parámetros de color L\*, a\*, b\*, Cromo y Hue. El valor de L\*, Cromo y Hue presentaron diferencias significativas entre las pulpas celulósicas de mango Keitt y Kent (P < 0.05). Las probetas elaboradas con la pulpa celulósica de la variedad Kent mostraron un valor L\* de 78.13 ± 0.43 el cual es mayor al presentado por las fabricadas con la variedad Keitt que obtuvo un

valor de 76.33 ± 0.25. Siendo la primera de un color ligeramente más claro que la Keitt (Figura 4). Esto se debe a que a valores más altos de L\* se presenta mayor luminosidad. Con respecto a los bajos valores de a\* se interpretan como ausencia de tonalidades rojizas o verdes. En cambio, los valores de b\* expresan tonalidades amarillas, como puede observarse en las imágenes de la Figura 4 y una ausencia total de tonalidades azules.

**Cuadro 3** Parámetros de color de las probetas fabricadas con pulpa celulósica de tegumento de mango Keitt y Kent.

Parámetros	Keitt	Kent	Probabilidad
L*	76.33 ± 0.25	78.13 ± 0.43	< 0.0001
a*	1.79 ± 0.18	0.52 ± 0.21	< 0.0001
b*	27.72 ± 0.40	22.08 ± 0.43	< 0.0001
Croma	27.77 ± 0.41	22.07 ± 0.42	< 0.0001
Hue (°)	86.28 ± 0.36	88.10 ± 2.38	0.0018

**Figura 4.**



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

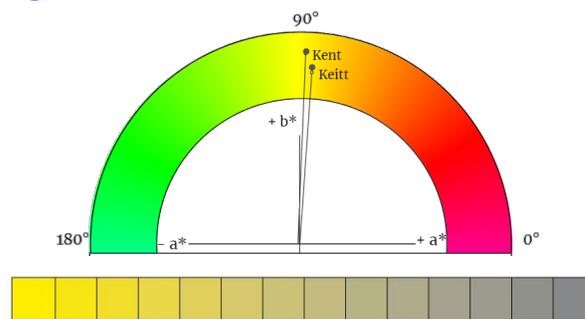
El valor obtenido de Hue fue ubicado en un círculo cromático para referenciar la inclinación de color de las probetas realizadas con las pulpas celulósicas de Keitt y Kent (Figura 5 imagen superior). Los ángulos obtenidos mostraron que las probetas que fueron realizadas con la pulpa de la variedad Keitt fue de  $86.28 \pm 0.36$ , que al ser ubicado en el círculo cromático, mostró que estas poseían un color inclinado levemente a tonalidades anaranjadas, mientras que las probetas de la variedad Kent presentaron un ángulo de  $88.10 \pm 2.38$  inclinando su color a un amarillo más puro. Mientras que para el parámetro de Croma, este indica el gradiente de pureza del color que tiene el material hasta llegar a tonalidades grisáceas a medida el valor se acerca a valores cercanos a 0 (Figura 5). La variedad Keitt en este análisis obtuvo un valor de  $27.77 \pm 0.41$  el cual resultó mayor al obtenido con la variedad Kent cuyo Croma fue de  $22.07 \pm 0.42$ , indicando que el color de este último es ligeramente más grisáceo que las probetas de Keitt.

A pesar de que las diferentes propiedades evaluadas con el análisis de color resultaron estadísticamente diferentes para ambas variedades, visualmente la diferencia de color entre los prototipos es apenas perceptible como se puede observar en la Figura 4. En general, la percepción del color de los prototipos sugiere un papel con apariencia

menos procesada, lo que conlleva a la impresión de ser más ecológicos al evitar procesos de blanqueamiento químico en el material. De acuerdo con Aguilar-Rivera (2021), a pesar de la inclusión de un proceso de blanqueamiento, los consumidores están conscientes de que un material no blanqueado posee características ambientales más favorables.

**Figura 5.**

Círculo cromático de Hue presentado por las probetas de pulpa celulósica de tegumento de mango Keitt y Kent (imagen superior). Gradiente de pureza del color (Croma) para el color amarillo (imagen inferior). Obtenido en <https://color.adobe.com/es/create/color-wheel>



**Propiedades mecánicas**

Para conocer las propiedades mecánicas de la pulpa celulósica de las dos variedades de mango, se realizó un análisis de resistencia a la 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 4). Se encontraron diferencias significativas en todos los parámetros anteriormente mencionados a un  $P < 0.05$ .

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., 2014). Se encontró que la variedad Kent requirió de una fuerza de  $3.59 \pm 0.64$  kgf para romperse, siendo la muestra más resistente desde la perspectiva estadística. En contraste, las probetas de pino necesitaron una fuerza de  $1.98 \pm 0.41$  kgf para romperse, mientras que las muestras de Keitt se rompieron a  $1.27 \pm 0.33$  kgf, indicando una menor resistencia en comparación con las de Kent y pino.

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 de la diferencia de esta propiedad mecánica se debe a la longitud

de las fibras y espesor de pared. Sable et al. (2012) encontraron que las fibras de pino llegan a medir 2 mm de largo, mientras que el espesor de pared mide  $2 \mu\text{m}$ . En cambio, en las fibras de la variedad Keitt la longitud alcanzó los  $933.89 \pm 122.60 \mu\text{m}$  de largo y el espesor de  $5.73 \pm 1.44 \mu\text{m}$  mientras que en las de Kent se obtuvo  $1047.8 \pm 163.27 \mu\text{m}$  y  $7.32 \pm 1.71 \mu\text{m}$  para estos mismos parámetros (Cuadro 2). Las fibras de Kent y pino tienen una proporción interesante, ya que el primero posee un espesor de pared de mayor a pino, pero una longitud menor mientras que el pino posee mayor longitud y un menor espesor de pared. Puede que de alguna manera ambos parámetros al interactuar en conjunto se igualen significativamente. En cambio, las fibras de Keitt poseen una longitud y espesor de pared menor que hace que la interacción entre ellas no sea tan favorable.

El 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 tuvo 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 en papel o cartón fue menos perceptible en comparación con lo que podría presentar un material plástico, puede llegar a duplicar su longitud original antes de romperse.

#### Cuadro 4.

Resultados obtenidos del análisis de propiedades mecánicas de las probetas fabricadas de pulpa celulósica de mango variedad Keitt, Kent y pulpa de pino.

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

<sup>a,b,c</sup>: promedio en cada columna seguidas de diferente letra minúscula son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ )

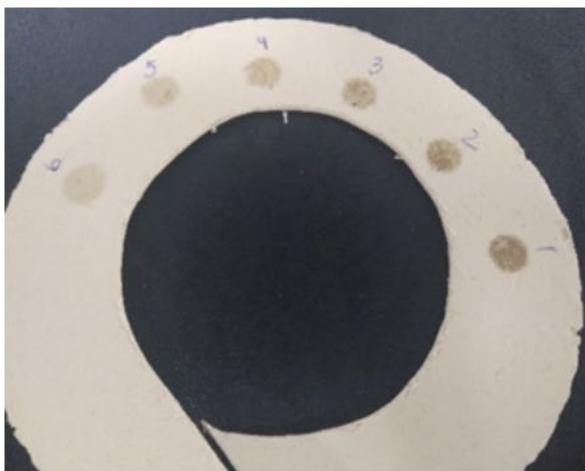
### Análisis de resistencia a la absorción de grasa

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 (ver Anexo A). La solución 1 del conjunto o “kit” de esta prueba se clasifica como la menos agresiva mientras que la solución del conjunto 12 es la más agresiva (Ham-Pichavant et al., 2005; Zhong et al., 2019).

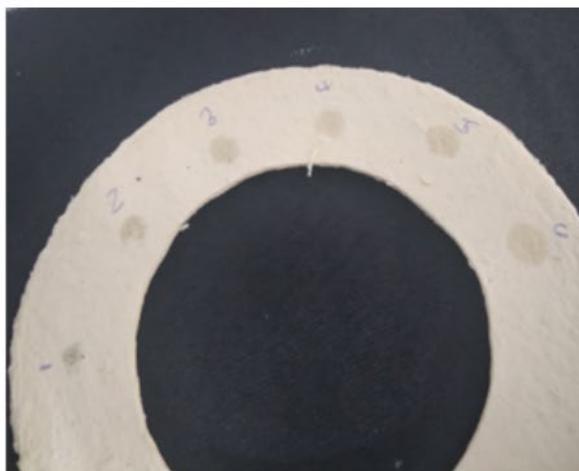
El proceso para medir la resistencia a la grasa de los prototipos realizados se comenzó utilizando la solución número 6 según se indica en la metodología. Sin embargo, al notar que la grasa se traspasaba de la muestra, se reinició el proceso con las soluciones de menor concentración (número 1). Los prototipos de platos realizados con la pulpa celulósica de mango Keitt y Kent no mostraron resistencia a la grasa con la solución 1, ya que la grasa se filtró rápidamente a través del material en el **Figura 6.**

Apariencia del material fabricado con pulpa celulósica de tegumento de mango variedad Kent. a.) Lado expuesto de la muestra, b.) Reverso de la muestra

a.)



b.)



tiempo estipulado de la prueba (Figura 6). Por este motivo se les asignó a los resultados de la prueba como 0, concluyendo que el material absorbe rápidamente la grasa y que su capacidad de resistirla es prácticamente nula. Esto concuerda con lo reportado por Paul y Heredia-Guerrero (2021) quienes realizaron una comparación de la resistencia a la grasa de materiales recubiertos con diferentes biopolímeros y encontraron que en el material sin tratamiento, la categoría del kit de resistencia a la grasa fue 1 en materiales de 250 g/m<sup>2</sup>.

A pesar de que este estudio se centró en la creación de los prototipos de pulpa celulósica de tegumento de mango, no se utilizó ningún aditivo que modificara las características de resistencia a la grasa. Es necesario continuar con más estudios para incrementar la capacidad de resistencia a absorción de grasa de los prototipos para que puedan ser utilizados con más confianza en el mercado.

## Absorción de humedad

La absorción de agua en el papel se refiere a la capacidad que tiene una zona específica de este para retener agua en un periodo determinado de exposición (Ye et al., 2022). Como se puede apreciar en el Cuadro 5, los prototipos que se crearon con las pulpas celulósicas de Keitt y Kent fueron sometidos a un análisis de absorción de agua, en el cual se observaron diferencias significativas en los resultados obtenidos con un nivel de confiabilidad del 95% ( $P < 0.05$ ).

Después de someter los prototipos a la prueba, se observó que la cantidad de agua absorbida fue de  $2679.9 \pm 224.6 \text{ g/m}^2$  para la variedad Keitt y de  $2288.4 \pm 143.0 \text{ g/m}^2$  para la variedad Kent. Según TAPPI T441 (2012) la cantidad de agua absorbida por ambos tipos de prototipos es demasiado alta, ya que supera los  $800 \text{ g/m}^2$ , lo que indica que estos artículos de pulpa celulósica contienen alto contenido de fibra pura. Es adecuado señalar que, si bien estas fibras tienden a ser hidrofílicas, este aspecto puede afectar las propiedades estructurales de un embalaje, ya que influyen en su resistencia y estabilidad, mostrando una mayor susceptibilidad a deformarse, especialmente en entornos húmedos. Sin embargo, esta influencia podría ser menor en el uso de platos desechables, ya que el contacto con alimentos es corto (minutos) y no requieren de altas propiedades mecánicas.

Al igual que los resultados de resistencia a la grasa, 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 a la absorción a sustancias como el agua y la grasa. La introducción de aditivos podría hacer más versátil el uso de 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

### Cuadro 5

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

	Absorción de Humedad ( $\text{g/m}^2$ )
Keitt	$2679.9 \pm 224.6$
Kent	$2288.4 \pm 143.0$
Probabilidad	0.0014

### Conclusiones

Se obtuvo pulpa celulósica de tegumento de semilla de mango variedades Keitt y Kent con la que se elaboraron prototipos de platos de un solo uso. Todos los platos fabricados mostraron tonos dentro del rango del amarillo al gris, siendo más grisáceos los obtenidos de la variedad Keitt.

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 superaron en algunos parámetros al material comercial de pino utilizado como punto de referencia.

Se encontró que 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, como la incorporación de aditivos o materiales complementarios que ayuden a mejorar la resistencia a la penetración de agua y grasa.

Se generó información que muestra 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. Estos ofrecen una alternativa sostenible a los platos fabricados de plásticos, como el poliestireno que contamina el medio ambiente.

### Contribuciones de los Autores

**N. Pacheco-Amaya** - Conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, visualización y redacción. **M. García-Mahecha** - Conceptualización, análisis formal, investigación, supervisión, validación y redacción. **E. Peralta** - Curación de datos, análisis formal, recursos, validación, supervisión y redacción. **J. Cardona** - Validación, redacción y visualización. **H. Soto Valdez** - Conceptualización, metodología, administración del proyecto, recursos, supervisión, visualización, redacción y revisión y edición del borrador original y del artículo final.

### Referencias Bibliográficas

- Aguilar-Rivera, N. (2021). Emerging technology for sustainable production of bleached pulp from recovered cardboard. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 23(9), 2575–2588. <https://doi.org/10.1007/s10098-021-02171-3>
- Almonacid R. C. (2012). Descripción del modelo de color HSL (Hue, Saturation, Lighthness). [http://guiadigital.uam.es/SCUAM/documentacion/pdfs\\_a\\_descargar/color.pdf](http://guiadigital.uam.es/SCUAM/documentacion/pdfs_a_descargar/color.pdf)
- Becerra Aguilar, B., Barrientos Ramírez, L., Ramírez Casillas, R., y Rentería Urquiza, M. (2014). *Procesos para la elaboración de papel Tissue*. [sin editorial]. ISBN: 978-970-764-556-1
- 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*. consultado 15 de junio de 2023. [http://www.gusgsm.com/el\\_espacio\\_de\\_color\\_lch](http://www.gusgsm.com/el_espacio_de_color_lch)
- Campbell, R. J. (1992). *Mangos: A guide to mangos in Florida*. Fairchild Tropical Garden.
- 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* (pp. 17-32). LIBERMEX.
- García-Mahecha, M., Soto-Valdez, H., Peralta, E., Carvajal-Millan, E., Madera-Santana, T. J., Lomelí-Ramírez, M. G., y Colín-Chávez, C. (2023). Production and characterization of cellulosic pulp from mango agro-industrial waste and potential applications. *Polymers*, 15, 3163. <https://doi.org/10.3390/polym15153163>
- 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>
- Huete, M., & Arias, S. (2007). *Manual para la producción de mango*. USAID.  
[http://www.agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files/Manual\\_Producc\\_Mango.pdf](http://www.agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files/Manual_Producc_Mango.pdf)
- Instituto Mexicano de Profesionales en Envase y Embalaje [IMPEE]. (2012). *Análisis de absorción de humedad: IMPEE PL20*. Instituto Mexicano de Profesionales en Envase y Embalaje
- 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.v84n20.58906>
- Lima, E. M. B., Middea, A., Neumann, R., Da Thiré, R. M. S. M., Pereira, J. F., Freitas, S. C. de, Penteadó, M. S., Lima, A. M., Da Minguita, A. P. S., Da Mattos, M. C., et al. (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).  
<https://doi.org/10.1002/star.202000118>
- Makhetha, M. R. A. (2016). *Fractionation of lignocellulosic biomass for production of materials and chemicals* [tesis de posgrado]. Stellenbosch University.  
<https://scholar.sun.ac.za/items/10e4a838-ac58-4fcf-a860-b24bc3a4504d>
- 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). 1969-1975.  
[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)
- Paul, U. C. y Heredia-Guerrero, J. A. (2021). Paper and Cardboard Reinforcement by Impregnation with Environmentally Friendly High-Performance Polymers for Food Packaging Applications. En A. Athanassiou (Ed.), *Sustainable Food Packaging Technology* (pp. 281–304). Wiley.  
<https://doi.org/10.1002/9783527820078.ch10>
- Plastics Technology México. (2017, May 31). Termoplásticos: Aplicaciones y clasificación del poliestireno (PS). Plastics Technology México.  
<https://www.pt-mexico.com/articulos/detr-s-del-poliestireno-ps>
- Rodríguez-Anda, R., Fuentes-Talavera, F. J., Silva-Guzmán, J. A., Palacios-Juárez, H. y Turrado-Saucedo, J. (2017). Relationship of the cellular structure of teak wood (*Tectona grandis* L. f.) with different ages and growth sites. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente*, 24(1), 101–114.  
<https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2017.07.050>
- Sable, I., Grinfelds, U., Jansons, A., Vikele, L., Irbe, I., Verovkins, A. y Treimanis, A. (2012). Comparison of the properties of wood and pulp fibers from lodgepole pine (*Pinus contorta*) and scots pine (*Pinus sylvestris*). *BioResources*. 7(2), 1771-1783.
- 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>
- TAPPI T 559 cm-12. (2012). Grease resistance test for paper and paperboard. TAPPI Standards Department: Norcross, GA, USA.

- TAPPI T 559. (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/>
- TAPPI T441. (2012). *Water absorptiveness of sized (non-bibulous) paper, paperboard, and corrugated fiberboard (Cobb test)*. TAPPI. <https://www.tappi.org/content/tag/sarag/t441.pdf>
- 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>
- Wrolstad, R. E., y Smith, D. E. (2017). Color analysis. In *Food Analysis* (pp. 545–555). Springer. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-45776-5\\_31](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-45776-5_31)
- Ye, J., Yuan, K., Xiong, H., Sha, B., Wei, T., Wu, L., Gao, D. y Chen, J. (2022). Experimental investigations on water absorption and mechanical properties of expanded perlite mortar under accelerated and natural aging conditions. *Materials Research Express*, 9(6), 65506. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ac79a7>
- Young, E. P. (Ed.). (2016). *Mango: Production, properties and health benefits*. Novinka. ISBN: 978-1-63485-968-4.
- 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). <https://doi.org/10.1002/star.201800284>

**Material Suplementario**

## Composición del kit de soluciones para el análisis de resistencia de absorción de grasa

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).