

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN

DIRECCIÓN DE PROYECTOS

ESCUELA DE AGRONEGOCIOS

INFORME FINAL DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Evaluación del uso Potencial de Fibras Naturales como Biomaterial

Código: 1431034

(DOCUMENTO I)

INVESTIGADORES:

*Ph.D. Rooel Campos Rodríguez;
Ph.D. Laura Brenes Peralta
M -Eng. María Fernanda Jiménez Morales
Máster. Manuel Masis Jiménez
Máster. Felipe Vaquerano Pineda
Máster. Ruben Calderón Cerdas*

Mes, Junio 2024

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Artículo 1: Aprovechamiento de los residuos agroindustriales de caña india como sustrato para la producción de tomate en hidroponía.	6
Artículo 2: Calidad de la Fibra de Itabo (<i>Yucca elephantipes</i>).....	17
Artículo 3: Comparación de la calidad de fibra de abacá (<i>Musa textilis</i>) de distintos ambientes	26
Artículo 4: Aprovechamiento de residuos sólidos de abacá por medio de compostaje	38
Artículo 5: Valorización de caña india para la elaboración de embalajes; revisión bibliográfica.....	47
Artículo 6: Evaluación del uso potencial de los residuos de itabo (<i>Yucca elephantipes regel</i>) para la producción de papel	58
Artículo 7: Efecto del Sustrato de Caña India en camas de cultivo bajo un sistema acuapónico con tilapias.	70
Artículo 8: Biosecado de residuos de fibras de abacá (<i>Musa textiles</i>) con pellets.	82
Artículo 9: Circular economy applicable to waste from the sustainable production of <i>Musa textilis</i> in Costa Rica.	94
Artículo 10: Natural fibers and sustainability: a life cycle approach for Costa Rican <i>Musa textilis</i> production	109
Propuesta estratégica para la agregación de valor a las fibras naturales y sus residuos para oportunidades productivas en Costa Rica.....	120
Evaluación del uso potencial del itabo (<i>yucca elephantipes regel</i>) para la producción de papel	120

Introducción

El abacá muestra un mejor crecimiento en suelos fértiles de origen volcánico o aluvial reciente que retienen bien la humedad, con un rango de humedad óptimo entre el 78% y el 88%. Además, crece en un rango de temperatura ideal entre 20°C y 27°C, y a altitudes de hasta 1000 metros sobre el nivel del mar. La propagación de las plantas de abacá puede llevarse a cabo mediante semillas o mediante métodos de clonación vegetativa, que incluyen retoños, cormos o secciones de rizomas, yemas oculares o cultivos de tejidos. (Asio et al., 2016)

En términos generales, hay poca información disponible sobre el potencial del sombreado en las plantaciones de *M. textilis* y su comportamiento dentro de sistemas agroforestales. Esto se debe a la escasez de resultados positivos que respalden la efectividad del sombreado artificial en este cultivo para mejorar su crecimiento y la calidad de la fibra. (Araya et al., 2022)

Es importante tener en cuenta que las plantas, al enfrentarse a ciertos niveles de estrés hídrico o acidez excesiva, pueden modificar sus mecanismos de ahorro energético, lo que puede resultar en reducciones en el crecimiento y desarrollo de los individuos. En algunos casos, las plantas bajo estrés hídrico pueden invertir más energía en el desarrollo de sus raíces. (Araya et al., 2022)

El abacá tiene una respuesta inicial muy positiva en cuanto a su crecimiento en altura cuando se encuentra en interacción con árboles maderables. Se ha demostrado que la especie *H. alchornoides* estimula en mayor medida el crecimiento vertical del abacá. Se ha detectado que existen diferencias significativas en el crecimiento, debido a la altura y en los niveles de nitrógeno entre las plantas de abacá del grupo control y aquellas en asociación con árboles maderables, siendo estas últimas las que mostraron un mayor desarrollo. (Araya et al., 2022)

Se observó que el abacá cultivado a plena luz solar (0% de sombra) presenta un menor NAR en comparación con las plantas cultivadas en tratamientos sombreados durante la etapa de plántulas. Las hojas de abacá plantadas bajo condiciones de 0% de sombra (dos meses después de la siembra, durante la etapa de plántula) sufrieron quemaduras por el sol (daño fotooxidativo) debido a la alta radiación solar. (Asio et al., 2016)

El momento de la cosecha depende de algunos factores como el cultivar, las condiciones del suelo y el clima, aunque comúnmente las plantas se pueden cosechar de 18 a 24 meses después de la siembra y se pueden cosechar dos o cuatro pseudotallos de cada estera cada 4-6 meses. (Araya et al., 2023)

El tamaño del mercado global de la fibra de abacá va a presentar un fuerte incremento durante 2021-2027, debido a la adopción acelerada de materiales híbridos reforzados con abacá debido a sus múltiples usos y su sostenibilidad. La producción mundial de abacá está valorada en 60 mil millones de dólares al año. (FAO, 2021)

Las diversas aplicaciones y usos del abacá, como su economía, durabilidad, resistencia al agua salada, bajo costo de producción, disponibilidad, biodegradabilidad y su capacidad para reforzar polímeros, han llevado a que a lo largo del tiempo su fibra se utilice en la fabricación de redes de pesca, prendas de vestir y tapicería. (Araya et al., 2023)

Aunque su uso principal se centra en la producción de bolsitas de té y café, tripas de salchichas, papel, servilletas, filtros de máquinas, cables de conducción, revestimientos eléctricos y vehiculares, billetes, guantes y gorras, también sirve como sustituto de la corteza de los árboles y en su momento fue la principal fuente de fabricación de tejidos. (Araya et al., 2023)

Las plantas de *Dracaena* (una planta africana) pertenecen a la familia Liliaceae, que incluye alrededor de 40 especies. La resina del tallo de *Dracaena fragrans* cv., utilizada en la industria del barniz y en el fotograbado. Es una planta perenne, principalmente una planta de follaje, cultivada en interiores o en lanais, aunque algunos tipos pueden crecer al aire libre, siendo muy populares. Los tallos están coronados por copas de hojas estrechas y correosas de 2 pies de largo y 3-4 cm de ancho. Las hojas son profundamente brillantes, el verde de las hojas presenta márgenes estrechos de color rojo purpúreo. (Badawy et al. , 2015)

La variedad tricolor (Candy cane) agrega finas líneas doradas al verde y al rojo. La propagación de la planta se lleva a cabo mediante semillas, esquejes o cultivo de tejidos. Para cubrir las necesidades de esta planta, es necesario estudiar los diferentes factores que afectan la productividad de los explantes para estandarizar la técnica utilizada para mejorar la

multiplicación de esta planta importante para usos tanto en interiores como en exteriores. (Badawy et al. , 2015)

Yucca gigantea Lem. (itabo), que se encuentra desde México hasta El Salvador (donde es la flor nacional), es un árbol con un tallo fibroso de corteza gris, que se ensancha en la base y generalmente tiene pocas ramas. Sus hojas simples y alternas tienen bordes afilados y, en Costa Rica, a menudo se cultiva como seto vivo. Las hojas se han utilizado en Costa Rica para atar tamales de Navidad, ya que se dividen en tiras longitudinales, y las grandes flores blancas también se han consumido como alimento. Esta planta nunca produce frutos en esta región y se reproduce únicamente vegetativamente. (Morales, 2020)

Artículo 1: Aprovechamiento de los residuos agroindustriales de caña india como sustrato para la producción de tomate en hidroponía.

Calderón Cerdas, Rubén; Campos-Rodríguez. Rooel; Alvarado-Vergas Jose María, Brenes Peralta, Laura, Jiménez Morales, María Fernanda.

Resumen

Se probó el tallo de caña india molido como sustrato para la producción de tomate en hidroponía dentro de un ambiente protegido. Para ello, se sembró tomate variedad JR y se utilizó como sustrato distintas proporciones de caña india molida mezclada con fibra de coco. Los tratamientos consistieron en utilizar macetas con distintas proporciones de caña india como sustrato: al 100%, 75, 50, 25 y 0 %, el resto de la proporción fue completado con fibra de coco. Todos los tratamientos recibieron la misma fertilización a través de un sistema de riego por goteo y fertirriego. Como resultados, se obtuvo que todas las plantas de tomate crecieron de la misma manera independientemente la proporción de Caña India que tuvieran. El desarrollo foliar fue igual para todos los tratamientos. En cuanto al rendimiento, las proporciones de 50:50 y 25:75 caña india: fibra de coco resultaron en la mayor productividad. No se presentó ninguna enfermedad asociada al uso del rastrojo de caña india.

Introducción

El tomate es una de las hortalizas con mayor relevancia a nivel mundial, tanto a nivel económico como productivo (Martínez-Ruiz, y otros, 2016). Datos de la FAO indicaron que durante el 2021 se produjeron más de 180 millones toneladas de tomate en el mundo. Además, entre 2019 y 2021, se registró un crecimiento del 13.5% anual con respecto a años anteriores. Costa Rica, durante el 2021, produjo 58 459 toneladas de este fruto y su consumo per cápita fue de 18,8 kg, lo que refleja la importancia de este cultivo a nivel nacional. En Costa Rica, la producción la encabeza la región Central Occidente (Alajuela y Heredia) y la región Central Oriental (Cartago); las cuales abarcan un 61,86% y 11,63% de la producción nacional, respectivamente.

La producción de tomate se realiza en ambientes semiprotegidos o protegidos. En los ambientes semiprotegidos se utilizan bandas plásticas que protegen al cultivo de la lluvia. Esto reduce los problemas relacionados a enfermedades fúngicas y bacteriales como la fusariosis, marchitez bacterial y el tizón tardío. Por su parte, los ambientes protegidos más

usados son los invernaderos, los cuales aportan una mayor protección, además de permitir la producción durante todo el año (INTA, 2017).

La producción hidropónica de tomate forma parte de las técnicas de cultivo bajo sistemas de ambiente protegido. Sin duda alguna, es aplicada en tomate. Las técnicas hidropónicas son aquellas por las cuales se da una producción hortícola sin la presencia de suelo. Se aplica una solución nutritiva para aportar los nutrientes y el agua necesarios para el desarrollo de las plantas; en donde se puede, o no, utilizar un medio sólido de cultivo. La producción bajo estos sistemas ha tenido un crecimiento en los últimos años debido a que hay una menor presencia de infecciones, mejor manejo del crecimiento de los cultivos y se obtienen cosechas de mejor calidad (Goddek, Joyce, Kotzen, & Burnell, 2019).

Los sustratos utilizados en la siembra pueden ser orgánicos o sintéticos (poliuretano y poliestireno). Las fibras, cortezas de madera, fibra de coco y turba son ejemplos de sustratos orgánicos comunes en la producción hidropónica. Estos sustratos fibrosos presentan una adecuada permeabilidad del aire y de retención de la humedad (Goddek, Joyce, Kotzen, & Burnell, 2019). Al poseer fibras de diversos tamaños se consigue una importante capacidad de retención de agua (entre 60-120%), además de poseer una alta porosidad que permite el flujo de gases como el oxígeno y dióxido de carbono (Wallach, 2008).

La fibra de coco es uno de los medios orgánicos utilizados en hidroponía. Es obtenida de la cáscara del fruto; muchas veces es generado como subproducto agroindustrial (Goddek, Joyce, Kotzen, & Burnell, 2019). La fibra de coco es una opción viable especialmente en regiones tropicales y subtropicales ya que la presencia de materia prima es abundante. Este medio de cultivo es efectivo por su estructura física, al ser capaz de permitir el flujo de aire y su capacidad de retener agua y nutrientes, lo que evita problemas relacionados a la asfixia y estrés por sequía en las raíces (Patil, Kadam, Mane, Mahale, & Dhekale, 2020). La principal ventaja de usar fibra de coco en la producción hidropónica es que contiene entre 30-40% de lignina (Mankar, Pandey, & Pant, 2022), polisacárido conocido, junto con la celulosa, por ser resistentes a la degradación microbológica (Patil, Kadam, Mane, Mahale, & Dhekale, 2020).

La caña india (*Dracaena L.*) es una planta monocotiledona de la familia taxonómica *Asparagaceae*, con cerca de 13 especies registradas (ITIS, 2023). Se usa como ornamental, sobre todo en interiores; además de ser útil al formar cercas vivas en cultivos de café. En Costa Rica se exporta como planta ornamental, sin embargo, durante la etapa de selección las que no cumplen con los criterios de calidad son descartadas. Esto genera afectaciones ambientales ya que su disposición genera lixiviados. La caña india desechada no registra actualmente ningún proceso de aprovechamiento que logre disminuir las afectaciones ambientales. Investigaciones previas indicaron que la fibra de hojas de caña india puede resultar en una opción innovadora para la obtención de fibras orgánicas; al poseer un 70,32% de celulosa, 11,02% de hemicelulosa y 11,35% de lignina (Manimaran, y otros, 2019). Con base en la necesidad de opciones para valorizar los subproductos de caña india y en su composición química, en este estudio se evalúa su uso como sustrato orgánico en la producción hidropónica de tomate.

Materiales y métodos

Se sembraron 126 plantas de tomate dentro de un ambiente protegido tipo invernadero. El ensayo tuvo cinco tratamientos: sustrato con 100% caña india, 100% fibra de coco, 75% Caña India + 25% fibra de coco; 50% caña + 50% coco y 25% caña india+ 75% de coco. Las mezclas correspondieron a medidas volumétricas. Las plantas se sembraron todas el mismo día y el diseño experimental fue irrestricto al azar con 18 repeticiones por tratamiento. El resto de las plantas pretendía evitar el efecto del borde.

Como material de siembra se utilizó la variedad JR, un tomate de crecimiento indeterminado. Las plántulas se adquirieron con 35 días de sembradas y 12 cm de altura. El trasplante se realizó manualmente colocando una única planta por cada maceta. Las plantas se sembraron en macetas plásticas de 4,4 L de capacidad. Con respecto a la distribución espacial de las plantas, la distancia entre plantas fue de 1,6 m entre hileras y 0,4 m entre plantas. Se colocaron siete hileras con 18 plantas cada una.

El ambiente protegido se ubicó en las instalaciones de la Escuela de Agronegocios del Tecnológico de Costa Rica. Las paredes estuvieron forradas con malla anti-áfidos. El techo

tenía plástico transparente. El piso estaba cubierto con un protector sintético de polipropileno. El sistema de fertiirrigación suplió a las plantas de tres riegos y de una fertilización diaria. La cantidad de agua aportada al cultivo varió según el desarrollo de las plantas. La cantidad de riego fue estimada con la evapotranspiración potencial (Eto) y con un coeficiente del cultivo (Kc) de entre 0,3 para plantas pequeñas, 1,3 para plantas en máxima producción y de 0,7 para etapas finales de producción.

El plan de fertilización se realizó con base en las curvas de absorción de los nutrientes descrita por Quesada y Bertsch (2012). Se calculó y se sumó la cantidad de cada nutriente requerida por la planta por semana. Esta cantidad semanal se suministraba con un sistema de riego por goteo. La dosis de fertilizante aplicado se basó en un rendimiento de 60Tm/ha. Se utilizó 263 Kg/ha de potasio, 180 Kg/ha de nitrógeno, 125Kg/ha de calcio, 32 Kg/ha de magnesio, 27 Kg/ha de azufre y 13 Kg/ha de fósforo. Las variables evaluadas semanalmente fueron la altura de las plantas, el índice de área foliar, la producción de tomates, número de tomates por planta y la cantidad de tomates dañados. Los datos fueron analizados según estadística descriptiva e inferencial. Se realizaron pruebas de Shapiro-Wilk para la normalidad, prueba de Levigne para la heterocedasticidad y de Residuos para la aditividad. Se analizó la varianza de los datos y se utilizó la prueba de DMS como separador de medias.

Por otro lado, se calculó la capacidad de retención de agua de los sustratos. Para ello, se colocaron cinco macetas por tratamiento de 4,4 L de capacidad de cada mezcla de sustratos en recipientes con agua. Los sustratos se mantuvieron durante 4 horas para que se saturaran de agua. Posteriormente, cada maceta fue retirada del agua y se dejó 30 minutos para que el agua escurriera. Se pesaron e inmediatamente se colocaron en una estufa 90 C durante 36 horas. Pasado el tiempo, cada repetición fue pesada. La humedad gravimétrica fue determinada mediante la fórmula:

Humedad gravimétrica=

$$\text{Humedad gravimétrica} = \frac{\text{peso húmedo} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}}$$

Durante el desarrollo de las plantas, se evaluó semanalmente la presencia de síntomas de la infección por parte de los hongos *Fusarium* spp. *Rhizoctonia*, *Phytium*, *Phytophthora* sp, *Alternaria* sp y de la deficiencia de Ca en frutos. Se evaluó la incidencia de todas ellas.

Resultados y discusión

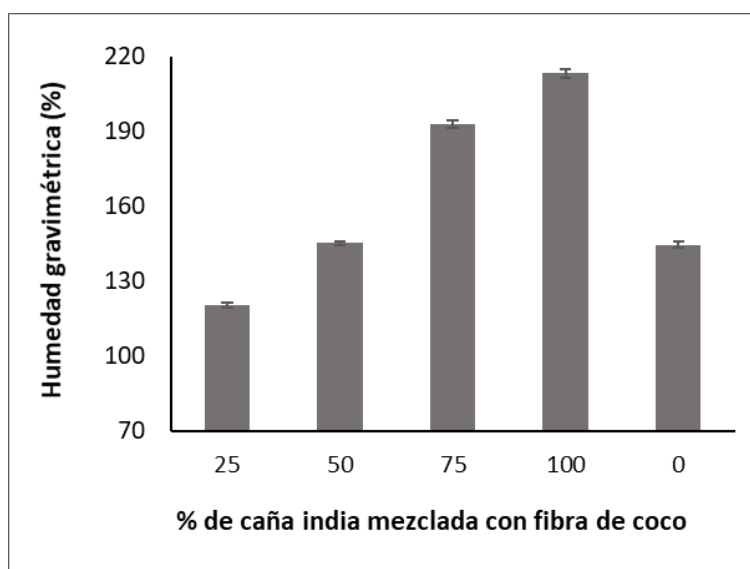
Las plantas de tomate sembradas en sustrato de fibra de coco y fibra de caña se desarrollaron con normalidad. No se presentó clorosis, enfermedades asociadas al sustrato ni bajo vigor.

Caña india como sustrato

El tallo de caña india es semileñoso, por lo que al ser molido en trozos puede fungir como sustrato. El tallo semileñoso retiene más humedad que los tallos leñosos. La proporción carbono nitrógeno del tallo de la Caña India fue de 38, esto le confiere porosidad, retención de humedad y un tiempo de descomposición mayor a los 2 años. La humedad gravimétrica calculada para el sustrato de caña india fue del 218%; por lo que se clasifica como un sustrato de alta retención de humedad. Otros sustratos como la fibra de coco tienen un 110% de humedad, mientras que la humedad gravimétrica del suelo ronda del 40 al 75%. La mezcla 1:1 de la caña india con fibra de coco proporcionó una humedad gravimétrica de 145%, mientras que la mezcla 3:1 brindó 193% (ver figura 1).

Figura 1

Humedad gravimétrica de distintas proporciones de tallo de caña india y fibra de coco



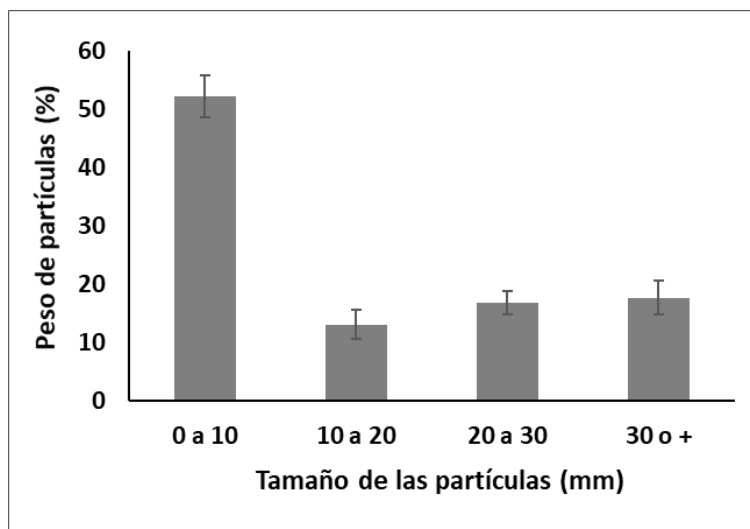
La relación entre el tamaño de la partícula y la humedad gravimétrica es un tema de interés en diversos campos, como la agronomía, la geología y la ciencia del suelo. Tradicionalmente, se ha asumido que a medida que el tamaño de las partículas disminuye, aumenta la capacidad de retención de humedad del sustrato debido a una mayor superficie específica disponible

para la adsorción de agua. Sin embargo, la relación entre estas dos variables puede ser más compleja de lo que se piensa inicialmente.

Estudios de las propiedades de los sustratos, demostraron que la relación entre el tamaño de partícula y la retención de humedad influye significativamente. Por ejemplo, la estructura del sustrato, la porosidad y la composición química pueden afectar la capacidad de retención de humedad de manera independiente al tamaño de partícula. Algunas investigaciones como la de (Li, H. Li, Y. & Liu, S. 2017) encontraron que la forma de las partículas también puede influir en la retención de humedad. Partículas más angulares o irregulares pueden crear espacios intersticiales que favorecen la retención de agua, incluso si el tamaño de las partículas es relativamente grande.

Figura 2

Peso de los distintos tamaños de partículas del sustrato de caña india según la longitud de la partícula.



Reducir la retención de humedad del sustrato mediante el picado del tallo en partículas más grandes es una estrategia comúnmente utilizada en la agricultura y la horticultura para controlar el nivel de humedad del suelo o sustrato. Esta práctica se basa en la teoría de que el tamaño de las partículas influye significativamente en la capacidad de retención de agua y en la porosidad del sustrato. Smith y Jones (2015), se demostraron que el tamaño de las

partículas del sustrato afecta directamente la capacidad de retención de humedad. Los investigadores encontraron que a medida que el tamaño de las partículas aumentaba, disminuía la capacidad de retención de humedad del sustrato.

Además, otro estudio realizado por García (2018) examinó la relación entre el tamaño de las partículas y el espacio poroso en el sustrato. Los resultados mostraron que las partículas más grandes creaban una estructura porosa con más espacio entre ellas, lo que facilitaba el drenaje del agua y reducía la retención de humedad. Por lo tanto, al picar el tallo en partículas más grandes, se aumenta el tamaño de las partículas en el sustrato, lo que a su vez disminuye su capacidad de retención de humedad y promueve un mejor drenaje.

Índice de área foliar del tomate.

En cuanto al área foliar, no se encontró diferencia entre los distintos tratamientos. El área foliar creció paulatinamente sin mostrar diferencias entre los tratamientos. El área foliar fue de 0,52 durante la segunda semana después del trasplante y alcanzó valores de 3,9 durante el inicio de la fructificación (10 semanas después de trasplante). Para plantas de tomate, se estima que el índice de área foliar adecuado debe estar entre 4 y 5. Entre estos valores se garantiza el máximo rendimiento, aprovechamiento de la radiación solar sin que exista competencia entre las plantas o que se generen condiciones propicias para la infección de patógenos.

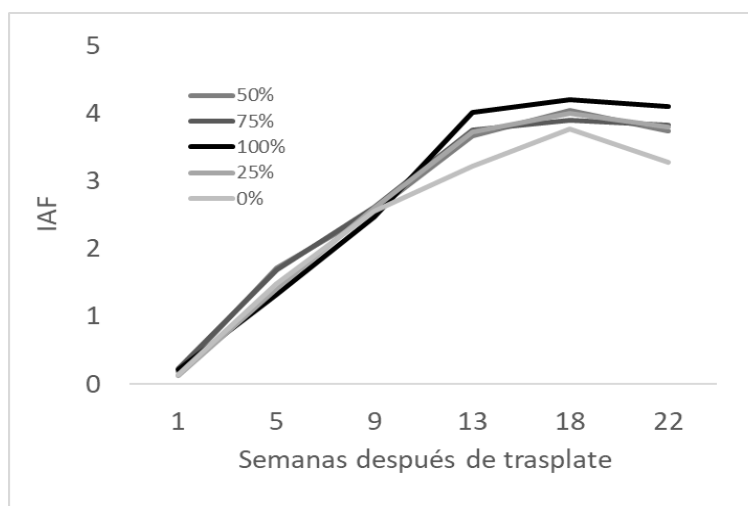
Rodríguez y Martínez encontraron relación entre el índice de área foliar y el rendimiento de un cultivo, según su experimento en campos de trigo, se encontró que un incremento del 10% en el índice de área foliar condujo a un aumento promedio del 7% en el rendimiento de grano por planta.

En un estudio realizado por García. (2018), se encontró una correlación significativa entre el índice de área foliar y el rendimiento del tomate. Se observó que a medida que aumentaba el IAF (índice de área foliar) también lo hacía el rendimiento de frutos por planta.

Cabe destacar, que el aumento en la densidad de siembra promovería el índice de área foliar, sin embargo, al haber mayor cantidad de plantas, habrá que invertir en mayor número de recursos como agua, semilla, nutrientes, infraestructura de riego.

Figura 3

índice de Área Foliar

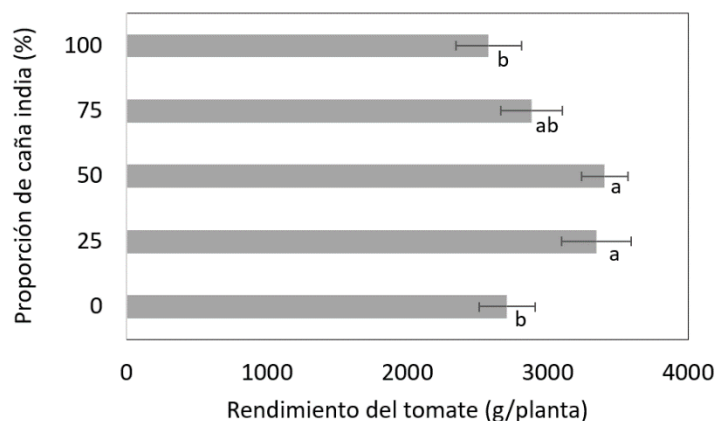


Rendimiento del cultivo de tomate.

El rendimiento de un cultivo es el resultado de la eficiencia de las plantas en el uso de los recursos. Los recursos del suelo, en este caso del sustrato, principalmente son los nutrientes, agua y espacio aéreo. El tallo molido de caña india demostró ser capaz de fungir como sustrato para la producción hidropónica de tomate (Figura 4). Las proporciones de 50:50 caña india: fibra de coco y de 25% caña:75% de fibra de coco, resultaron en la mayor producción de tomate (3,5 Kg/planta), esto manteniendo la calidad del fruto. El uso exclusivo de fibra de coco y de caña india mostró valores inferiores al uso de mezclas (2,7 vs 3,5 Kg/planta).

Figura 4

Producción de plantas de tomate sembradas en distintas proporciones de dos sustratos: tallos de caña india molidos y fibra de coco. Los porcentajes refieren a la cantidad de caña india en una mezcla volumétrica.



Al moler el tallo de la caña india, quedaron trozos de distintos tamaños, algunos de hasta 5 cm de longitud por 1 cm de ancho. El tallo de la caña posee tejido conductivo y estructural por lo que la humedad del sustrato se debe al agua del xilema, agua con azúcares provenientes del floema y el agua contenida en las células. Por ello, los azúcares podrían fermentar el sustrato y liberar ácidos orgánicos (Smith y Jones, 2018) Para evitar el efecto tóxico de los ácidos orgánicos, es prudente que el tiempo entre la corta de la caña y la molienda sea de al menos 10 días, con este tiempo, el proceso de respiración hará que los tejidos consuman los azúcares y el tallo pierda humedad. Dicha recomendación concuerda con Chapman, quien argumentó que los azúcares de un tallo son consumidos por el tallo a través de procesos de respiración.

Las mezclas entre fibra de coco y de caña india proporcionaron mejores condiciones para las raíces que los sustratos puros. Esto en cuanto a la humedad del sustrato, retención de la humedad, espacio aéreo, y retención de los nutrientes.

Conclusiones

Al evaluar caña india molida como sustrato en la producción de tomate hidropónico, se demostró que al ser añadida hasta en un 50% se aumenta la productividad del tomate producido por planta. Sin embargo, al ser utilizado en proporciones mayores al 50% (75% y 100%) se encontró que disminuye la producción total. Por su parte, el sustrato no afectó la calidad del fruto, tampoco el desarrollo de la planta.

Recomendaciones

Se recomienda evaluar el tiempo que tiene la caña india después de corta. Cuando se cosecha la caña, libera sabia y sustancias de reserva del tallo. La descomposición inicial de estos líquidos podría generar algún problema a las plántulas de tomate.

El aprovechamiento de los residuos vegetales derivados de la agroindustria puede usarse para generar abonos, biomateriales, combustibles, entre otros. Por lo que se deben promover las investigaciones en esta línea ambiental.

El residuo de tallo de caña india está disponible y su uso como sustrato en la agricultura hidropónica tiene un potencial ante los escasos de sustratos como la fibra de coco.

Referencias

- Barrientos, O., & López, L. (2010). *SEPSA. Sector Agropecuario. Cadena productiva de tomate Políticas y Acciones*. Obtenido de http://sepsa.go.cr/docs/2010_Politica_SectorAgro_tomate.pdf
- Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., & Burnell, G. (2019). *Aquaponics food production systems: combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future (p. 619)*. Springer Nature.
- INTA. (2017). *Manual técnico del cultivo de tomate (Solanum Lycopersicum)*. Obtenido de <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10921.pdf>
- ITIS. (2023). *Integrated Taxonomic Information System - Report. Dracaena L.* Obtenido de https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt.jsessionid=47ACF8B0E738C6026740B6B5DF3F9BD7?search_topic=TSN&search_value=500631#null
- Manimaran, P., Saravanan, S., Sanjay, M., Siengchin, S., Jawaid, M., & Khan, A. (2019). *Characterization of new cellulosic fiber: Dracaena reflexa as a reinforcement for polymer composite structures. Journal of Materials Research and Technology, 8(2), 1952-1963.*

- Mankar, A., Pandey, A., & Pant, K. (2022). *Microwave-assisted extraction of lignin from coconut coir using deep eutectic solvents and its valorization to aromatics. Bioresource Technology, 345, 126528.*
- Martínez-Ruiz, F., Cervantes-Díaz, L., Aíl-Catzím, C., Hernández-Montiel, L., Sánchez, C., & Rueda-Puente, E. (2016). *Hongos fitopatógenos asociados al tomate (Solanum Lycopersicum L.) en la zona árida del noroeste de México: la importancia de su diagnóstico. European Scientific Journal, 12(18).*
- Patil, S., Kadam, U., Mane, M., Mahale, D., & Dhekale, J. (2020). *Hydroponic growth media (substrate): a review. Int. Res. J. Pure Appl. Chem, 21, 106-113.*
- PIMA. (2016). *Programa Integral de Mercadeo Agropecuario. Análisis del consumo de frutas, hortalizas, pescado y mariscos en los hogares costarricenses.* Obtenido de <https://www.pima.go.cr/wp-content/uploads/2017/07/Analisis-Consumo.pdf>
- Wallach, J. (2008). *Physical characteristics of soilless media. In: Raviv, Lieth (eds) Soilless culture, theory and practice. Elsevier, Amsterdam, pp 41–116.*
- Smith, A., & Jones, B. (2015). Effects of Particle Size on Soil Moisture Retention. *Journal of Agricultural Science, 20(3), 45-58.*
- García, C., Rodríguez, M., & Martínez, E. (2018). Influence of Particle Size on Porosity in Substrate. *Horticultural Science, 15(2), 87-102.*
- Li, H., Li, Y., & Liu, S. (2017). Influence of Particle Shape and Particle Size on Soil Water Retention. *Soil Science Society of America Journal, 81(2), 345-356.*
- Chapman, A., & Jones, B. (2019). Dormancy and Carbohydrate Metabolism in Plant Stems. *Journal of Plant Physiology, 25(3), 345-358.*
- García, A., Rodríguez, M., & Martínez, E. (2018). Relationship between Leaf Area Index and Tomato Yield: Field Experiment Results. *Journal of Agricultural Science, 35(2), 123-136.*

Artículo 2: Calidad de la Fibra de Itabo (*Yucca elephantipes*)

Calderón Cerdas, Rubén; Campos-Rodríguez. Rooel; Brenes Peralta, Laura, Jiménez Morales, María Fernanda.

Resumen

La planta de itabo (*Yucca elephantipes*), pertenece a la familia Agavaceae. Es una planta con tallo leñoso y con hojas espinosas. El itabo es utilizado como planta ornamental, para delimitar terrenos, como barrera rompevientos, además de tener una flor comestible. Se evaluó la resistencia de las fibras de las hojas de plantas creciendo en distintas condiciones como distintas altitudes, hojas en distintas posiciones de la misma planta y edades de 6, 12 y 18 meses de edad. Se encontró que la resistencia de las hojas varía según su posición en la planta, con las hojas apicales siendo más resistente.

Introducción

Por siglos, la humanidad utilizó fibras vegetales para diversos usos para la vida cotidiana, supervivencia, caza y agricultura (Mohanty et al., 2005). Fibras como el yute, algodón, abacá, entre otros más han sido ampliamente utilizados. Con la invención de los plásticos y otros derivados del petróleo, estas fibras fueron sustituidas por materiales sintéticos. Sin embargo, durante las dos últimas décadas, múltiples empresas e industrias, han vuelto sus ojos en la utilización de las fibras naturales. La fibra de itabo provee características deseables y que deben ser analizadas.

La planta de itabo (*Yucca elephantipes*) pertenece a la familia de las Agavaceae. Las plantas de esta familia se reconocen por ser hierbas gruesas (0,8 mm de espesor) y poseer hojas con bordes puntiagudos. El género *Yucca* se caracteriza por ser hierbas de 3 a 8 metros de altura, un tronco grueso en la base de hasta 60 cm de diámetro, ramificado hojas puntiagudas e inflorescencias blancas (Grayum, 2022).

El itabo es una planta que crece desde los 300 m de altitud hasta los 1500 m (Carillo, 2007). En cuanto a clima, se adapta fácilmente a cualquier ambiente, sea soleado o sombreado. Su reproducción ocurre de manera sexual a través de semillas y asexualmente mediante estacas. La propagación del itabo se da principalmente de forma asexual, utilizando hijos o ápices que se colocan en camas o directamente en recipientes con un sustrato adecuado (Salas, 1987). Weaver (1987) y Hartman (1982) las estacas gruesas, como las del itabo, no necesitan

tener hojas para enraizar, ya que cuentan con abundantes reservas de nutrientes en sus tejidos. Esto sugiere que poseen los cofactores necesarios para estimular el inicio del enraizamiento.

En Costa Rica, esta planta se utiliza como cerca viva y para la conservación del suelo en zonas con deslizamientos o pequeños derrumbes. Otro uso poco conocido es el de las fibras, que se pueden obtener a partir de sus hojas. Delgadas tiras de las hojas del itabo son utilizadas por agricultores como mecate para amarrar culantro, cebolla y el tutorado de chile y tomate. Otros usos es la elaboración de hojas y papel mediante un proceso de molido (Blanco y Campos, 1991).

Las fibras de itabo se pueden clasificar como una planta de longitud mediana. Según el factor de Runkel, la calidad de la fibra es apta para la producción de papel. Por otra parte, presenta una buena superficie de contacto, lo que indica una buena unión fibra-fibra. El presente artículo exploró las características físicas de las fibras de las hojas de itabo provenientes de distintas condiciones edad del cultivo, manejo y altitudes.

Materiales y métodos

Se realizó un muestreo en diez plantaciones de itabo con distintas condiciones de sombra, altitud y de manejo agronómico. Se comparó la fibra de hojas de distintas posiciones dentro de la planta: bajas, hojas mediales y apicales, tanto de plantas a plena exposición de sol, sombra parcial y sombra. Además, se muestrearon hojas de itabo de plantas a 1600 m, 1200 y 500 m de altitud. Por su parte, se muestrearon plantas de 6, 12 y 18 meses.

De las hojas extrajo fibras de itabo. Las fibras se extrajeron con una máquina desfibradora que roe el tejido hasta desnudar la fibra. La máquina desfibradora tiene una serie de peines que giran. Las fibras extraídas fueron sacadas bajo sombra, sin recibir sol directo.

Una vez extraídas las fibras, se dejaron secar a temperatura ambiente (20°C) durante 5 días. Luego, las fibras fueron tendidas en una rama horizontal para que se secaran. El secado fue

al aire libre, imperaron condiciones de nubosidad parcial, sin lluvia y con humedad relativa entre los 85 y 98%.

Para ello, se realizó una cosecha al azar de cada una de las tres edades del cultivo. El encargado de la finca proporcionó información de las edades de las plantas. Se tomó una muestra de diez hojas de distintas plantas. Cada muestra fue llevada al laboratorio para su estudio.

Para el análisis de la resistencia mecánica y elasticidad, se procedió a seguir la norma ISO 14125 Esta norma establece que la longitud usada para las fibras debe ser de 25,4 cm de largo, ajustada con dos placas de madera a cada lado de la hebra. La fibra se adhirió a las placas de madera con cola de carpintería. La prueba mecánica de resistencia a la tensión y alargamiento (D3822M-14), dichas probetas se realizaron a partir de una lámina de madera de dos mm de espesor y 40 x 50 mm de largo y ancho respectivamente. Las piezas de madera fueron cortadas con sierra de mesa. Por otro lado, se evaluó la humedad gravimétrica de las hojas de itabo, se utilizó una muestra de 9 hojas para cada tratamiento de hoja bajera hoja medial y bajeras.

Con los valores obtenidos en la prueba de tracción, se calculó el alargamiento de la fibra al punto de rotura mediante la fórmula:

$$\text{Alargamiento de rotura } A = \Delta L / L_0 \times 100 [\%]$$

Los datos fueron analizados según estadística descriptiva e inferencial. Se realizaron pruebas de Shapiro-Wilk para la normalidad, prueba de Levigne para la heterocedasticidad y de Residuos para la aditividad. Se analizó la varianza de los datos y se utilizó la prueba de DMS como separador de medias.

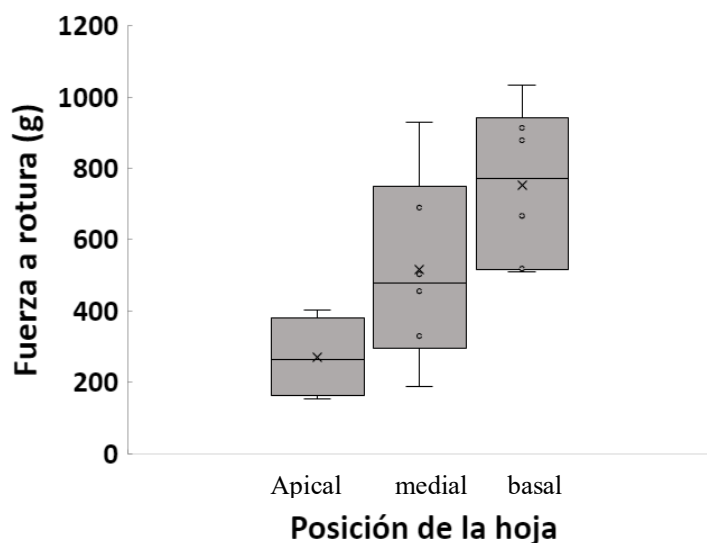
Resultados y discusión

La emisión de las hojas de itabo ocurre únicamente en el meristemo apical de cada tallo, por lo que no hay emisiones laterales. La tasa de emisión de las hojas varía según las condiciones en las que se desarrollan las plantas. La radiación, el confort hídrico, las características físicas

y químicas de los suelos son los factores que más condicionan la emisión de las hojas (Deng et al., 2006). Es por ello, que la edad cronológica de las hojas no siempre concuerda con la edad de desarrollo de estas. Las hojas apicales, de formación más reciente, son las hojas cuyas fibras presentaron la mayor resistencia a la tensión. La resistencia a la tensión para estas hojas apicales fue de 753 g, las hojas mediales requirieron de 492 g, mientras que las hojas bajas requirieron 271 g para romperse (figura 1). Las hojas evaluadas correspondieron a la hoja 17, 53 y 92 respectivamente, siendo la hoja 1 la de más reciente emisión.

Figura 1

Relación entre la posición de la hoja dentro de la planta de itabo y la resistencia a la tracción.

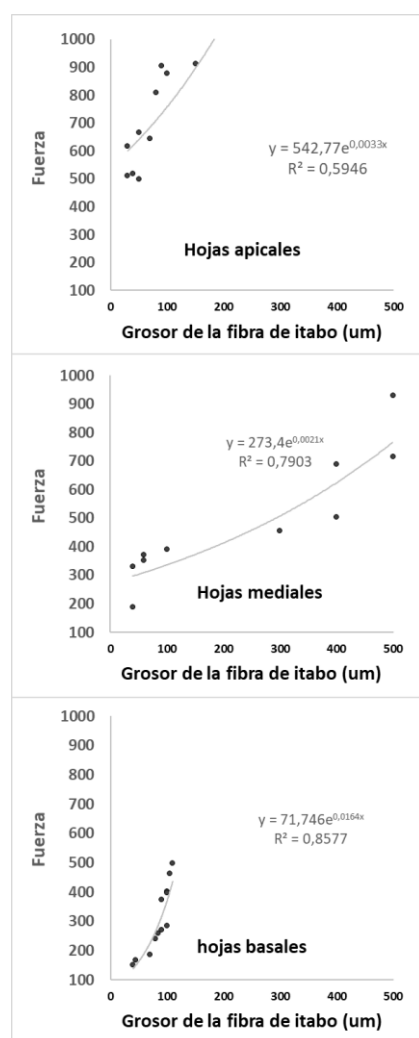


La fortaleza de la fibra del itabo fue menor conforme descendió hacia hojas bajas. Cabe resaltar, que las hojas bajas remueven, a través de la oxidación, compuestos como proteínas y elementos esenciales que se requieren para la formación de estructuras nuevas para las plantas (Taiz et al., 2015). Ocurre sobre todo en deficiencia nutricional de macronutrientes como el nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio.

Las hojas bajas reciben menor radiación solar y por ello, su fotosíntesis es cercana o por debajo del punto de compensación de la luz (Gu et al., 2017). Esto hace que los procesos de respiración consuman los esqueletos de carbono. Además, ocurre una remoción de las moléculas como aminoácidos requeridos por raíces, flores y ápices principalmente. Cabe destacar, que las plantas de itabo no presentaron flores, pero la antesis ocurrió un mes antes, por lo que la flor fue un sumidero que demandó la remoción de productos de las hojas bajas. Los datos demostraron que las hojas apicales tienen fibras más gruesas y por ello, más resistentes (figura 2). Las hojas apicales, al estar más expuestas a la luz solar y a la interacción con el entorno, pueden desarrollar una estructura más robusta.

Figura 2

Relación entre la posición de la hoja dentro de la planta de itabo y la resistencia a la tracción.

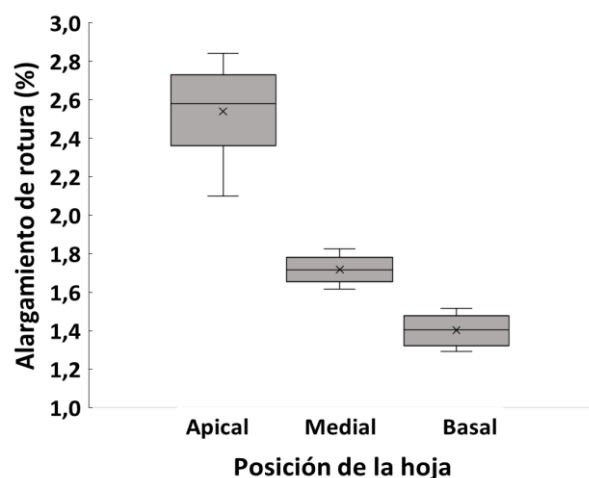


Las fibras antes de romperse pueden estirarse. La elasticidad de las fibras es una característica deseable en la mayoría de los casos, pues permite amortiguar cambios bruscos en la tensión y evitar la ruptura o fatiga de estas (Zhou et al., 2019). La elasticidad de las fibras fue evaluada como la capacidad de estiramiento al momento de la rotura de esta. Resultó que las fibras de hojas nuevas son las más elásticas (2,6%). En las fibras de hojas mediales fue de 1,7% y las de hojas bajas fue de 1,5% (figura 3).

La resistencia a la tensión y el alargamiento a la rotura de las fibras de las hojas de las plantas de itabo pueden variar dependiendo de varios factores, incluida la composición celular y la estructura interna de las hojas en diferentes estratos. La humedad de las hojas de itabo fue de 85% para hojas apicales, de 84,5% y de 84,1% para hojas basales. Es posible que las hojas medias tengan una composición química y de humedad que les permita estirarse más sin romperse, lo que podría estar relacionado con la necesidad de flexibilidad para soportar condiciones cambiantes del entorno.

Figura 3

Relación entre la posición de la hoja dentro de la planta de itabo y la elasticidad



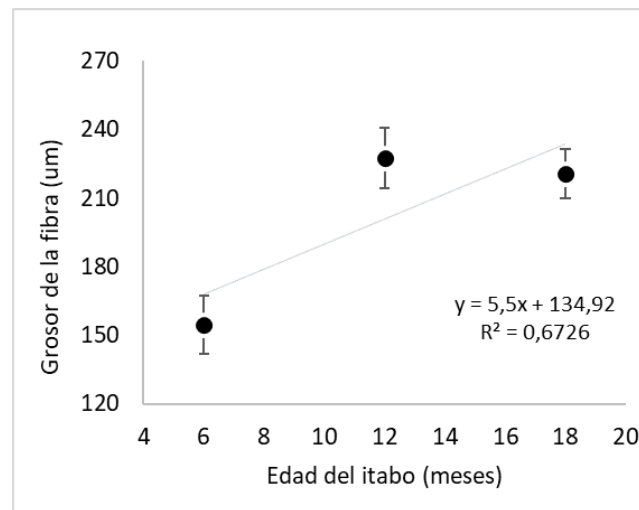
Edad de la planta y grosor de la fibra

A través del tiempo el grosor de la fibra de las hojas itabo aumento, se llevó un estudio exhaustivo para investigar el fenómeno del aumento del grosor de la fibra en las hojas de las

plantas de itabo a diferentes etapas de su ciclo de vida, específicamente a los 6, 12 y 18 meses de edad.

Figura 4

Grosor de la fibra de hojas de itabo de plantas con 6, 12 y 18 meses de edad

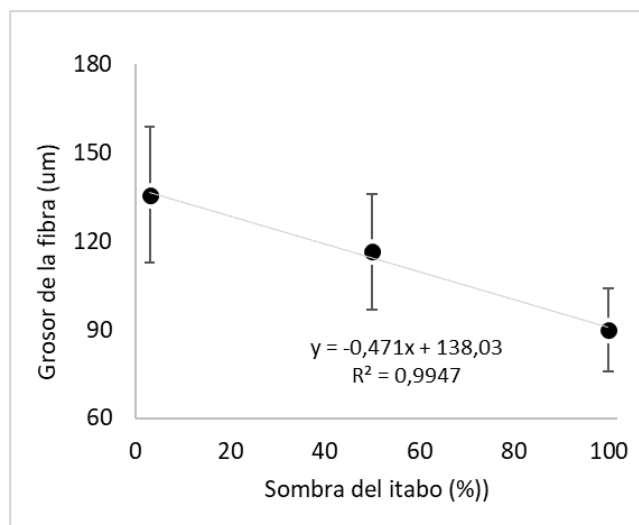


Grosor de la fibra en diferentes condiciones de luz

en cuanto menos sombreado está la planta se desarrolla mucho más y con más calidad El grosor de la fibra en las hojas de las plantas de itabo puede variar según la cantidad de luz a la que están expuestas. En plena exposición al sol, las plantas pueden desarrollar fibras más delgadas por la necesidad de maximizar la captación de luz para la fotosíntesis. Sin embargo, en condiciones de sombra parcial (50% de sombra), las plantas pueden desarrollar fibras más gruesas para optimizar la captación de luz disponible. Esta adaptación les permite absorber la cantidad óptima de luz para la fotosíntesis sin ser perjudicadas por la intensidad total de la luz solar.

Figura 5

Grosor de la fibra según la condición de luz en la que crecen: plantas a plena exposición de sol, 50% de sombra y 100% sombreado.



Bibliografía

- Deng, X., Joly, R. J., & Hahn, D. T. (2006). The influence of plant water deficit on photosynthesis and translocation of ^{14}C -labeled assimilates in cacao seedlings. *Physiologia Plantarum*, 78(4), 623-627. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1990.tb05251.x>
- Gu, J., Zhou, Z., Li, Z., Chen, Y., Wang, Z., Zhang, H., & Yang, J. (2017). Photosynthetic Properties and Potentials for Improvement of Photosynthesis in Pale Green Leaf Rice under High Light Conditions. *Frontiers in Plant Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01082>
- Mohanty, A. K., Misra, M., & Drzal, L. T. (Eds.). (2005). *Natural fibers, biopolymers, and biocomposites*. Taylor & Francis.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (Eds.). (2015). *Plant physiology and development* (Sixth edition). Sinauer Associates, Inc., Publishers.
- Zhou, J., Pellegrino, A., Heisserer, U., Duke, P. W., Curtis, P. T., Morton, J., Petrinic, N., & Tagarielli, V. L. (2019). A new technique for tensile testing of engineering

materials and composites at high strain rates. *Proceedings. Mathematical, Physical, and Engineering Sciences*, 475(2229), 20190310.
<https://doi.org/10.1098/rspa.2019.0310>

POOLE, R.T; CONOVER, C.A. 1982. Propagation of Spineless Yucca. *Folia Digest* 5(5):14-15.

SALAS, G. 1987. Enraizamiento y brotación del itabo (*Yucca elephantipes* Regel) con reguladores de crecimiento. Tesis Ing. Agr., Universidad de Costa Rica. Sede Regional de Occidente (Recinto de Tacaes), 37 p.

WEAVER, R. J. 1980. Reguladores de crecimiento de las plantas en la agricultura. Trad. por Agustín Contín. México, D.F. Trillas. 622 p.

Artículo 3: Comparación de la calidad de fibra de abacá (*Musa textilis*) de distintos ambientes

Calderón Cerdas, Rubén; Campos-Rodríguez. Roel; Brenes Peralta, Laura, Jiménez Morales, María Fernanda.

Resumen

El abacá (*Musa textilis*) es una planta originaria de Filipinas, cultivada para extraer sus fibras. Cada fibra de abacá puede soportar hasta 5 kg de peso y por eso se ha utilizado para elaborar cuerdas, fabricar papel, bloques, telas y ladrillos. Para el presente trabajo, se analizó la calidad física de la fibra a través de la resistencia a la tensión, elongación, deformación, color y grosor. Para ello, se realizaron muestreos para caracterizar la fibra de plantaciones con distinto manejo agronómico, edades de las plantas (12, 18 y 24 meses), niveles de sombra (0, 20 y 40%), además de plantaciones de rango altitudinales. Se encontró que la fuerza de ruptura fue mayor en tejido de 18 y 24 meses. En 18 meses, se requirió de 2,97 Kg para romper las fibras, mientras que, en 12 meses, fue de 0,74 Kg. En cuanto al grosor de la fibra, se encontró que aumenta conforme avanza la edad del cultivo. Las plantas con 24 meses mostraron el grosor de 208 micrómetros, mientras que las fibras de plantas de 12 meses fueron de 155 um.

Introducción

Las fibras naturales fueron utilizadas por la humanidad desde hace más de 5000 años. Las fibras se utilizaron para la elaboración de ropa, aislantes para dormir y como combustible para mantener el fuego encendido. Posteriormente, las fibras se utilizaron para la elaboración de cuerdas y así amarrar objetos, construir chozas, anzuelos de pesca y de caza. Sin duda, las fibras naturales extraídas ayudaron al desarrollo de inventos que facilitaron la vida de los humanos.

Plantas como la cabuya, yute, itabo y abacá proporcionan fibras resistentes. El abacá es una planta originaria de Filipinas y pertenece a la familia de las Musaceae. Según Armecín & Gabón (2008), la extracción y uso de fibra de abacá es una de las empresas agrícolas más antiguas. Actualmente, la fibra de abacá se usa en la industria automovilística para la elaboración de asientos y los paneles del tablero e interior de puertas (Bande, Grenz, Asio, 2013). En Costa Rica, el abacá fue introducido en 1965 y su siembra inició en el valle de la Estrella, Limón. Actualmente, se siembran 215 hectáreas de abacá. Dicha producción se realiza en la vertiente Atlántica, pues la planta se adapta a altitudes menores de los 400 m,

La fibra de abacá considerada la fibra textil, se utiliza principalmente para hacer sogas, cuerdas y cuerdas marinas ya que por las fibras largas del abacá lo hacen ideal para la fabricación de cuerdas y cuerdas utilizadas en aplicaciones marinas, como el amarre de barcos y la pesca se sabe que es de las más fuertes de las fibras naturales aparte es más resistente a la descomposición del agua, e igual en un estado seco. Creación de bolsas y sacos especialmente en la agricultura para el transporte de productos como granos, café y cacao.

El abacá por su gran resistencia mecánica, siendo una de las fibras más resistentes y que no sufre deterioro por el agua salada (Campos, 2023) con la fibra también puede realizarse papel de alta calidad, como papel moneda, como billetes de banco, papel moneda y papel de seguridad, debido a su durabilidad y resistencia al desgarro.

La fibra de abacá se utiliza como refuerzo en la fabricación de materiales compuestos, como plásticos reforzados con fibra (FRP), para mejorar aplicaciones automotrices, aeroespaciales y de construcción. Fabricación de componentes automotrices, como paneles de puertas y piezas interiores, debido a ligereza. En materiales de filtración se emplea en la fabricación de filtros para diversas aplicaciones, como en la industria del petróleo y gas, purificación de agua y filtración de aire, debido a su capacidad para retener partículas y su resistencia a los productos químicos. Tejidos textiles y artesanía, se emplea en la producción de tejidos como la piña, que se utiliza para hacer telas finas y delicadas para prendas de vestir y accesorios, especialización de ropa, cortinas, pantalla, tapicería, floreros, cestas y lámparas. Un uso muy importante es en el refuerzo de materiales de construcción agregar a materiales de construcción como el fibrocemento para mejorar su vida útil, principalmente en techos y paneles de pared.

Las propiedades de la fibra de abacá permiten diversificar el uso actual de las fibras. Una sola fibra según (Chiluiza, 2020) tiene una densidad de 1,3 g/cm³ una resistencia de 400 – 1289 MPa, una elasticidad de 45 GPa, una elongación de fractura de 2,7%. Cada hebra de fibra puede llegar a medir hasta seis metros de largo. Las fibras tienen un diámetro de 0,1 a 1 mm. Por otro lado, como lo señala (Moscoso, 2007) las fibras de abacá están conformadas por celulosa (63 – 70,1 %), aunque muchos autores difieren en esto ya que puede presentar

de un 70 a 80 % de celulosa, hemicelulosa (20 – 21,8 %), pectina (0,6 %), lignina (5,7 – 6 %), extractiva (1,8 %) y una humedad de (5 – 10 %).

Cabe destacar que, la fibra de abacá se obtiene al cortar el tallo de forma similar como se lo hace con la planta de plátano, después, se elige los mejores para proceder a sacar las tiras. Se procede a hacer una limpieza de forma manual. Luego de realizar todo el proceso se pasa a una máquina donde el objetivo es desfibrar en tiras, consta de un motor que hace girar un trompo de madera que es el que desfibra las tiras. Luego se sacan a para que tengan un secado natural y que obtenga la flexibilidad. (Chiluiza, 2020).

El presente artículo pretendió explorar las diferencias en las propiedades físicas y químicas de las fibras de abacá de distintas condiciones de sombra, edad del cultivo, manejo y altitudes.

Materiales y métodos

Se realizó un muestreo en plantaciones de abacá con distintas condiciones ambientales y de manejo agronómico. Se visitaron diez fincas la región Atlántica de Costa Rica, específicamente de las provincias de Limón y Heredia. Las fincas fueron seleccionadas por criterios de altitud, manejo agronómico, edad y sombra de las plantaciones.

De cada finca, se tomaron plantas de abacá para extraer sus fibras. La cosecha de las plantas se realizó de manera manual. Cada planta fue derribada y su fibra fue extraída a partir de la vaina de la hoja, específicamente de la segunda y tercera vaina externa del pseudotallo. La vaina foliar fue cosechada para extraer *in situ* las fibras. Las fibras se extrajeron con una máquina desfibradora que roe el tejido hasta desnudar la fibra y eliminar tejido de mesófilo y cutícula principalmente. La máquina constó de un motor de gasolina de cuatro tiempos con un torque de 19,1 Nm y 230 cm³. La máquina se conecta a una serie de placas de hierro que giran a 1000 revoluciones por minuto. Se introdujeron las vainas foliares a la máquina y se sacaron inmediatamente. En total, la operación tardó dieciocho segundos por vaina. Inmediatamente, las fibras fueron tendidas en un espacio sombreado sobre un tendedero de madera colocado en forma horizontal para que se secaran. El secado fue al aire libre,

imperaron condiciones de nubosidad parcial, sin lluvia y con humedad relativa entre los 80 y 96%.

Para la prueba con plantas de distinta edad, se cosechó vainas de abacá de plantas de tres edades distintas de una misma plantación. Las edades fueron de 12, 18 y 24 meses posteriores al trasplante. Para ello, se cosechó plantas al azar de cada una de las tres edades del cultivo. Se tomó una muestra de diez vainas de distintas plantas. Cada muestra fue llevada al laboratorio para su estudio.

En cuanto a los tratamientos por sombra, se tomaron muestras de plantas con distinto nivel de sombra, específicamente con índices de área foliar total de 2, 4 y 6. Esto coincidió con sombras para el abacá del 0, 30 y 75% respectivamente. La metodología utilizada para conocer la cobertura vegetal sobre el dosel del abacá fue por índice de cobertura, realizado a través del análisis de imágenes cenitales. De cada tratamiento se tomaron 10 vainas y fueron procesadas para extraer la fibra.

En el laboratorio, se midió la longitud de cada fibra de cada tratamiento. Además, se evaluó el color con un colorímetro marca Hunter-lab de triple estímulo de “a”, “b” y “L”. Cabe destacar que de cada muestra se evaluó nueve fibras. Para el análisis de la resistencia mecánica y elasticidad, se precedió a seguir la norma ISO 14125. Esta norma establece que la longitud usada para las fibras debe ser de 25,4 cm de largo, cuyos extremos debieron estar sujetos a dos placas de madera. La fibra se adhirió a las placas de madera con cola blanca de carpintería. Las placas de madera tuvieron una longitud 40 x 50 mm de largo y ancho respectivamente con 2 mm de espesor. La prueba mecánica de resistencia a la tensión y alargamiento (D3822M-14) se realizó en laboratorio con parámetros de velocidad de 2 cm/minuto.

En cuanto a la extracción de las fracciones de lignina y celulosa, una muestra de 50 gramos de fibra de abacá fue hidratada durante 24 horas. Posteriormente, se colocó en una solución de soda caustica Na(OH) al 80% durante 40 minutos. Luego, la fibra fue lavada.

Resultados y discusión

La fibra del abacá de plantas que crecieron a pleno sol mostró una resistencia promedio de 2800 g. Las plantas que crecieron bajo 20% de sombra, la resistencia a rotura fue de 1790 g. Se identificó que las plantas creciendo a 0 y 20 % de sombra, no mostraron diferencias significativas en cuanto a deformación, esfuerzo a ruptura o elongación de la fibra. Sin embargo, a 40 % de sombra, se identificó diferencias con respecto a la fibra de las plantas de 20% de sombra en las variables indicadas. El esfuerzo a la ruptura fue de 538 MPa en fibras de 40%, mientras que a 20% de sombra fue de 173 MPa.

Según (Araya *et al*, 2022) la calidad de la fibra mejora bajo sistemas de sombreo, ya sea naturales o utilizando sombras artificiales (como el sarán), esto porque las plantas modifican su morfología para aprovechar al máximo el proceso de la fotosíntesis. El porcentaje de sombra no solo afecta la fotosíntesis de la planta, si no que altera la asimilación de CO_2 e interfiere directamente en el estrés de las plantas. Según (Senevirathna, Stirkingi, Rodrigo, 2008) las plantas de la familia *Musa* sp presentan una mayor capacidad de asimilación de CO_2 cuando se encuentran bajo algún nivel de sombra, así mismo indican que la sombra ayuda a disminuir el estrés por exposición a altas radiaciones. Las plantas que se encuentren bajo la sombra logran recuperarse rápidamente de las altas radiaciones del medio día, esto es un mecanismo de foto-protección para el fotosistema.

Tabla 1

Propiedades físicas de fibra de abacá extraídas de plantas manejadas a distintos niveles de sombra (n=10). Valores en paréntesis indican el error estándar. Letras distintas denotan significancia estadística (p=0,05)

Sombra (%)	Deformación (%)	Elongación (%)	Fuerza a ruptura (Kg)
0	1,77 (0,25)b	4,4 (0,64)b	1,33 (0,15)b
20	1,61 (0,13)b	4,01 (0,31)b	1,55 (0,18)b
40	2,04 (0,27)a	5,73 (0,36)a	2,19 (0,24)a

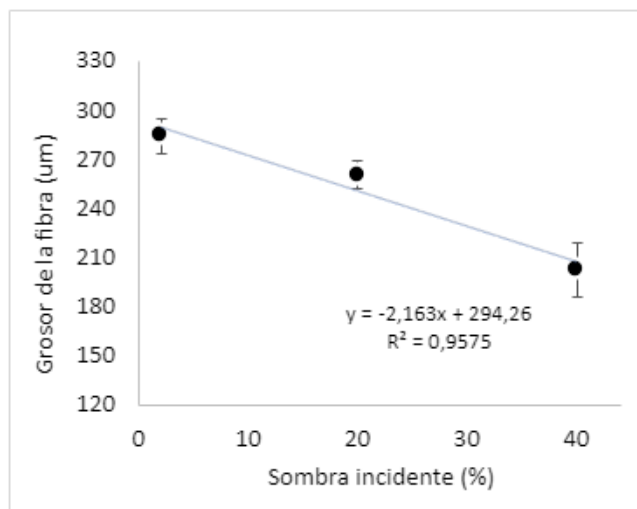
El porcentaje de sombra no solo afecta la fotosíntesis de la planta, si no que altera la asimilación de CO_2 e interfiere directamente en el estrés de las plantas. Según (Senevirathna, Stirkingi, Rodrigo, 2008) las plantas de la familia *Musa* sp presentan una mayor capacidad

de asimilación de CO₂ cuando se encuentran bajo algún nivel de sombra, así mismo indican que la sombra ayuda a disminuir el estrés por exposición a altas radiaciones. Las plantas que se encuentren bajo la sombra logran recuperarse rápidamente de las altas radiaciones del medio día, esto es un mecanismo de foto-protección para el fotosistema.

Por lo tanto, bajo sombra, las hojas de las plantas suelen ser más delgadas, ya que el mesófilo de empalizada y el esponjoso no pueden captar tanta radiación solar y aprovechar la radiación solar. Por lo tanto, las hojas a plena exposición de sol pueden ser hasta tres veces más gruesas que las hojas a la sombra, pero con mayor probabilidad de daño al fotosistema por altas radiaciones. Este efecto fue evidente en el grosor de las fibras. Las fibras de plantas a pleno sol tuvieron las fibras más gruesas en comparación que aquellas que crecieron bajo algún tipo de sombra. Se halló una relación entre la cantidad de sol incidente sobre la planta y el grosor de la fibra (figura 1)

Figura 1

Grosor de las fibras de abacá de plantas creciendo bajo distintos niveles de sombra (0, 20 y 40%)



Esto también está relacionado con la cantidad de carbohidratos que logra formar una planta expuesta al sol. La exposición al sol en plantas de abacá provoca una menor tasa transpiratoria y una menor fotosíntesis, como ya se mencionó. Esto se debe a que, similar a las plantas de café, el abacá es una planta de sotobosque, y muestra tasas fotosintéticas mayores cuando la sombra está entre un 30 y 50%. Una mayor tasa transpiratoria y de

fotosíntesis neta, conlleva a una mayor absorción y asimilación de macronutrientes como el calcio, potasio, fósforo y magnesio.

En específico el calcio es el principal constituyente de la pared celular y las membranas de las células, además estabiliza las paredes celulares y participa en el equilibrio iónico dentro de las células (Díaz, Cayón y Mira, 2007). Por ello, las hojas que se encuentren con cierto porcentaje de sombra y logren una mejor absorción pueden presentar una mayor resistencia. Según, (Abarca, 2017), el rango óptimo de calcio en el suelo para Musáceas es de 25,09 cmol/l, según los resultados de los estudios de suelo (tabla 2), solamente dos de los sitios del estudio tuvieron un rango de calcio adecuado para el cultivo, reduciendo la absorción de calcio (Méndez y Bertsch, 2012) y por consiguiente la resistencia de las fibras de abacá.

Tabla 2

Resultado de pH en agua, potasio, calcio, magnesio y acidez en las muestras de suelo en los sitios de estudio

	Cmol(+)/L				
Muestra	pH	K	Ca	Mg	Acidez
	5.6-6.5	0.2-0.6	4-20	1-5	0.5-1.5
1	4.48	0.07	1.5	1.3	3.2
2	4.70	0.20	2.3	2.2	4.0
3	4.33	0.15	1.9	1.7	3.6
4	7.6	0.37	28.9	2.4	0.1
5	7.1	0.46	29.5	3.3	0.1
6	5.1	0.15	5.1	1.9	0.7
7	5.3	0.14	8.6	3.1	0.4
8	5.3	0.09	3.5	1.6	1.0
9	4.7	0.07	0.6	0.9	3.3
10	5.92	0.43	8.3	3.2	0.3
11	5.61	0.36	7.2	3.0	0.4

Edad del cultivo

La edad de una planta y su estado de desarrollo, determinan el tamaño, longitud y madurez de los tejidos, entre ellos las fibras de la planta de abacá. Las edades valoradas se seleccionaron según cosechas comerciales. Estas edades responden a rendimiento, cosecha y

la sucesión típica de las plantas de abacá, donde existe una madre, abuela y planta hija. La sucesión responde a la tasa de emisión de tallos por hectárea.

La edad determinó la fortaleza de la fibra, así como la deformación que experimenta. Cabe resaltar, que existe una relación inversa entre la fuerza de la fibra y su deformación (tabla 3). El rango de elongación de las fibras de abacá se ubicó entre 4,52% (18 meses) y de 5,27% para los 12 meses. La fuerza de ruptura fue mayor en tejido de 18 y 24 meses. En 18 meses, se requirió de 2,97 Kg para romper las fibras, mientras que, en 12 meses, fue de 0,74 Kg.

Tabla 3

Propiedades físicas de fibra de abacá extraídas de plantas de distintas edades (n=10). Valores en paréntesis indican el error estándar. Letras distintas denotan significancia estadística (p=0,05)

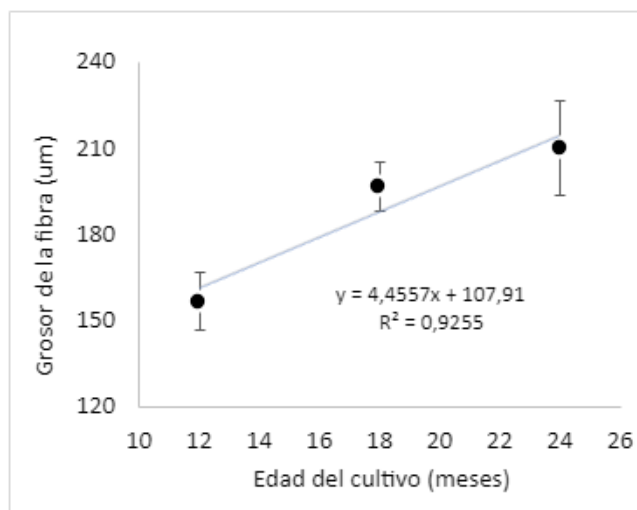
Edad del cultivo	Deformación (%)	Esfuerzo a ruptura (MPa)	Elongación (%)	Fuerza a ruptura (Kg)
12 meses	2,11 (0,30)a	163 (34)a	5,27 (0,72)a	0,74 (0,12)c
18 meses	1,81 (0,15)b	643 (81)b	4,52 (0,43)a	2,97 (0,31)a
24 meses	1,83 (0,18)b	468 (301)b	4,58 (0,59)a	1,55 (0,30)b

La capacidad de flexionarse y estirarse de una fibra está relacionada con la edad de la fibra, la composición y el grosor de esta. Las fibras están compuestas por celulosa, hemicelulosa y lignina. Las fibras más gruesas contienen paredes celulares lignificadas son más fuertes, pero menos flexibles y deformables.

Esto debido a que la lignina se introduce entre la lámina media y las paredes de la fibra, produciendo mayor rigidez (Rodríguez, 2004). Esto concuerda con los resultados encontrados, pues las fibras jóvenes (12 meses) mostraron una elongación de 5,27%, mientras que las fibras de 24 meses fueron de 4,58%. En cuanto al grosor de la fibra, se encontró que aumenta conforme avanza la edad del cultivo. Las plantas con 24 meses mostraron el grosor de 208 micrómetros, mientras que las fibras de plantas de 12 meses fueron de 155 um (figura 2).

Figura 2

Grosor de fibras de abacá de plantas de 12, 18 y 24 meses después del trasplante.

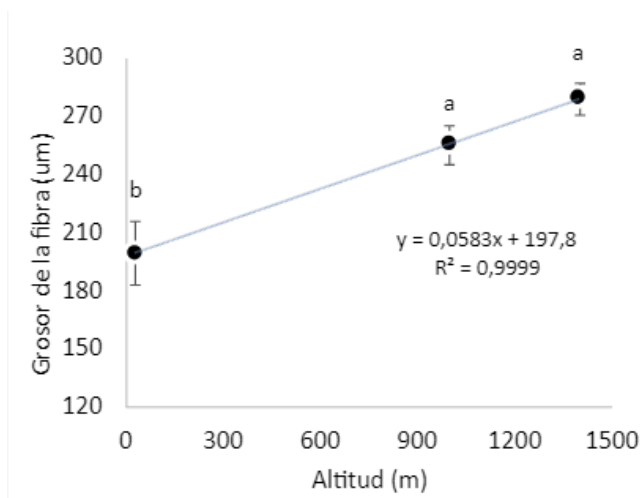


Altitud

La altitud a la que se siembran las plantas provoca cambios ligeros en la anatomía de las plantas. En el caso del abacá se halló un aumento en el grosor de las fibras conforme aumentó con la altitud. El grosor de las fibras fue de 194, 243 y 271 µm para las altitudes de 30, 1000 y 1400 msnm (figura 3).

Figura 3

Grosor de la fibra del abacá cosechado de plantaciones a distintas altitudes desde los 30 a los 1400 msnm.



En cuanto al color de la fibra del abacá, se utilizaron los parámetros para el sistema de espacio color CIELAB. Este sistema se basa en tres ejes; L *A* B. El eje vertical L abarca el color negro (cero) hasta blanco (100). El promedio para el eje L fue de 19,62. El eje A es horizontal y comprende coloraciones rojizas hasta verdes, en el caso del promedio que se obtuvo la muestra fue de -2,25, el negativo indica que las coloraciones predominantes fueron verdes. En caso de haber sido positivo, serían rojizos. Por último, el eje horizontal B, representa azul para números negativos y amarillos para positivos. la muestra obtuvo un promedio de 7.75 por lo que la coloración predominante fue la amarilla (Talens, 2017).

Bibliografía

- Abarca, J. (2017). Efecto de la fertilización con calcio en la fruta de banano (Musa AAA cv. Gal) para el control de la mancha de madurez. Tesis para optar al grado de Profesional de Ingeniero Agrónomo con el grado de Licenciado en Agronomía. Escuela De Agronomía. Facultad De Ciencias Agroalimentarias. Universidad De Costa Rica.
- Araya-Salas, M; Arias-Aguilar, D; Valverde-Otárola, J.C; AriasCeciliano, K; Muñoz-Acosta, F; Camacho-Calvo, A.M; GarroMonge, G; Jiménez-Quesada, K; Mora-Molina, J. Avances en las investigaciones realizadas en cultivos de abacá establecidos en Costa Rica con especial referencia a los sistemas agroforestales. Tecnología en Marcha. Vol. 35, especial V Encuentro Biental Centroamericano y del Caribe de Investigación y Posgrado. Junio, 2022. Pág 50-59.
- Armecin, R. B., & Gabon, F. M. (2008). Biomass, organic carbon and mineral matter contents of abaca (*Musa textilis* Nee) at different stages of growth. *Industrial Crops and Products*, 28(3), 340–345. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.03.014>
- Bande, M. M., Grenz, J., Asio, V. B., & Sauerborn, J. (2013). Fiber yield and quality of abaca (*Musa textilis* var. Laylay) grown under different shade conditions, water and nutrient management. *Industrial Crops and Products*, 42(1), 70–77. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.05.009>
- Chiluiza, T. W. P. (2020). “Optimización (doe-mezclas) del material híbrido con refuerzos de fibra de abacá, fibra de cabuya y fibra de vidrio de matriz de resina poliéster y su incidencia sobre las propiedades mecánicas a flexión, tracción e impacto”. Facultad

- de Ingeniería Civil y Mecánica. 182.
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/31238/1/Tesis%20I.%20M.%20594%20-%20Chiluiza%20Toapanta%20William%20Patricio.pdf>
- Díaz, A., Cayón, G., & Mira, J. (2007). Metabolismo del calcio y su relación con la “mancha de madurez” del fruto de banano. *Agronomía Colombiana* 25(2), 280-287.
- Jaramillo-Quiceno, N., Vélez R, J. M., Cadena Ch, E. M., Restrepo-Osorio, A., & Santa, J. F. (2018). Improvement of Mechanical Properties of Pineapple Leaf Fibers by Mercerization Process. *Fibers and Polymers*, 19(12), 2604–2611.
<https://doi.org/10.1007/s12221-018-8522-3>
- Kambli, N., Basak, S., Samanta, K. K., & Deshmukh, R. R. (2016). Extraction of natural cellulosic fibers from cornhusk and its physico-chemical properties. *Fibers and Polymers*, 17(5), 687–694. <https://doi.org/10.1007/s12221-016-5416-0>
- Kale, R. D., Taye, M., & Chaudhary, B. (2019). Extraction and characterization of cellulose single fiber from native Ethiopian Serte (*Dracaena steudneri* Egler) plant leaf. *Journal of Macromolecular Science, Part A: Pure and Applied Chemistry*, 56(9), 837–844.
<https://doi.org/10.1080/10601325.2019.1612252>
- Liu, L., Wang, Q., Cheng, L., Qian, J., & Yu, J. (2011). Modification of natural bamboo fibers for textile applications. *Fibers and Polymers*, 12(1), 95–103.
<https://doi.org/10.1007/s12221-011-0095-3>
- Montanaro, G., Dichio, B., & Xiloyannis, C. (2010). Significance of fruit transpiration on calcium nutrition in developing apricot fruit. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 173(4), 618–622. <https://doi.org/10.1002/jpln.200900376>
- Rica, U. D. C. (2019). *CAB Direct*. 8(1).
- Mortazavi, S. M., & Moghaddam, M. K. (2010). An analysis of structure and properties of a natural cellulosic fiber (Leafiran). *Fibers and Polymers*, 11(6), 877–882.
<https://doi.org/10.1007/s12221-010-0877-z>
- Moscoso, J. C. P. (2007). Obtención de compuestos de polipropileno reforzado con fibras de abacá mediante moldeo por compresión. *Escuela de Ingeniería, Ingeniero*, 183.
<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/352/1/CD-0762.pdf>
- Munteanu, S. B., & Vasile, C. (2020). Vegetable additives in food packaging polymeric materials. *Polymers*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/polym12010028>

- Rodríguez, I. (2004). Caracterización de la lignina de plantas anuales. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, España. Memoria del trabajo de investigación correspondiente al "XLI Curso Internacional de Edafología y Biología Vegetal".
- Sanjay, M. R., Arpitha, G. R., Naik, L. L., Gopalakrishna, K., & Yogesha, B. (2016). Applications of Natural Fibers and Its Composites: An Overview. *Natural Resources*, 07(03), 108–114. <https://doi.org/10.4236/nr.2016.73011>
- Senevirathna, A. M. W. K., Stirling, C. M., & Rodrigo, V. H. L. (2008). Acclimation of photosynthesis and growth of banana (*Musa sp.*) to natural shade in the humid tropics. *Experimental Agriculture*, 44(3), 301–312. <https://doi.org/10.1017/S0014479708006364>
- Silva, G., Kim, S., Aguilar, R., & Nakamatsu, J. (2020). Natural fibers as reinforcement additives for geopolymers – A review of potential eco-friendly applications to the construction industry. *Sustainable Materials and Technologies*, 23, e00132. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2019.e00132>
- Talens, P., 2017. Evaluación del color y tolerancia de color en alimentos a través del espacio CIELAB. Universitat Politècnica de València
- Bravo, N.C(2023) investigación para aprovechar fibras naturales genera oportunidades. Hoy en el TEC <https://www.tec.ac.cr/hoyeneltec/2023/09/12/investigacion-aprovechar-fibras-naturales-genera-oportunidades-productivas>
- Fernando, S., & Dean, S. W. (2009). "Handbook of Fiber Chemistry." CRC Press.
- Gargar, D. A. (2015). "The Use of Natural Fibers in Automotive Components." *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 11(1), 2568-2583.
- Rowell, R. M. (Ed.). (2005). "Handbook of Fiber Science and Technology: Chemical Processing of Fibers and Fabrics: Functional Finishes Part B." CRC Press.

Artículo 4: Aprovechamiento de residuos sólidos de abacá por medio de compostaje

Use of solid abacá waste through composting

Publicado en:

Aprovechamiento de residuos sólidos de abacá por medio de compostaje. Campos-Rodríguez, Rooel; Brenes-Peralta, Laura Patricia; Jiménez-Morales, María Fernanda; Masís Céspedes Joselyn Charlyn. Hacia la circularidad y el residuo cero, p. 261-266. 2023, ISBN 978-84-09-53123-3. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9094767>

Resumen

Estudios en Costa Rica, estiman que la demanda inmediata de abacá (*Musa textilis Née*), para exportación es de 2000 ha y la oferta actual menor de 500 ha, haciendo necesarios programas de incentivo de plantaciones de abacá. Lógicamente se acrecentará la generación de residuos de la planta de abacá, mismos que consisten en restos de tallos, hojas entre otros.

La presente investigación tuvo como objetivo valorizar los residuos de la planta de abacá por medio de compostaje, bajo dos tratamientos, el primero con la técnica Takakura (sustrato inoculador) y el segundo utilizando Pellets de madera.

Cada tratamiento contó con cuatro repeticiones y se midieron las variables temperatura, humedad y pH, por un periodo total de 30 días, de los cuales diez días fueron de reposo del compost. Se realizó un aporte de abacá semanal de tres kilogramos por tratamiento, con un único aporte de sustrato Takakura de 10 kilogramos el primer día del experimento y 0,6 kilogramos de Pellets por cada aporte semanal de abacá, todo lo anterior según investigaciones previas.

Los resultados indican que el tratamiento Takakura presentó temperaturas máximas de hasta 64°C en la fase termófila y promedio de 50°C durante todo el experimento, con humedad entre 50 y 70% y pH cercano a 7, presentado diferencias significativas con el tratamiento de Pellets cuya temperatura promedio fue de 41 °C, humedad final promedio de 62% con pH neutro. Se concluye que ambas formas de compostaje pueden ser adecuadas para valorizar los residuos de abacá.

Palabras clave: compostaje, Takakura, pellets, abacá.

1.Introducción

La *Musa textilis*, también conocida como abacá o cáñamo de Manila, pertenece a la familia Musaceae y surge originalmente de Filipinas, la producción de este cultivo se dio únicamente en este país hasta la segunda guerra mundial. A raíz de esto, grandes empresas se han dado a la tarea de buscar áreas adecuadas para la producción de este cultivo, evidenciándose que países de la franja trópico-húmedo, como Costa Rica, cumplen con las características necesarias para que este producto pueda ser cultivado de manera óptima (Sambonino, et.al, 2017). Esta planta herbácea se caracteriza por la fibra que se extrae de la vaina de sus hojas, y se considerada como un potencial sustituto de la madera para la fabricación de pulpas de papel, debido a que cada fibra está compuesta por células largas y delgadas que cuentan con un alto contenido de lignina con alrededor del 15% de su composición. Este componente determina la dureza de la pared celular, confiriéndole gran resistencia mecánica y resistencia al daño por agua salada (FAO, 2021).

El uso del abacá se ha centrado de manera esencial en la extracción de fibra, que sirve de materia prima para las industrias de papel, pulpa, fibra artesanal, cordeles, entre otros (Parker, 2023), lo que produce un determinado porcentaje de biomasa, desaprovechada en campo. En la actualidad la labor de cosecha se realiza directamente en cada finca y parte de la biomasa de la planta queda en campo como hojas, parte superior del tallo, peciolos, y racimo; así como un residuo producto del procesamiento. Existe gran potencial para generar subproductos a partir de los residuos, ya que la biomasa lignocelulósica, constituye una fuente alternativa renovable, abundante y económica, con un potencial energético importante, para la producción de una amplia gama de bioproductos a partir del compostaje (Irmak, 2017).

Por tal motivo, los residuos de abacá se pueden incorporar de nuevo al ciclo productivo por medio de un proceso bio-oxidativo de los residuos orgánicos, controlando la temperatura, humedad y aireación, conocido como compostaje (Chaves, et.al, 2019).

El compostaje se puede realizar mediante la técnica Takakura (TK) misma que recurre a microorganismos fermentativos resultantes de cáscaras de frutas, legumbres y algunos

derivados lácteos (Campos, et.al,2016). Otra manera es por medio de la utilización de pellets de madera que coadyuvan al mantenimiento de una humedad, temperatura y pH adecuados, lo que favorece la descomposición de los residuos (Brenes, et.al, 2021).

Independientemente de la técnica que se utilice para valorizar los residuos de abacá, es necesario la utilización de conocimientos, procesos tecnológicos y principios biológicos, para obtener bienes sostenibles según lo promulga la bioeconomía (IICA,2020), por medio de estrategias de economía circular donde se dé el aprovechamiento de los residuos biomásicos que se generan producto de la industrialización de la planta de abacá (Campos, et.al,2022). Por tal motivo, el objetivo de esta investigación fue valorizar los residuos de la planta de abacá por medio de compostaje, bajo dos tratamientos, el primero con la técnica Takakura (sustrato inoculador) y el segundo utilizando Pellets de madera.

2. Metodología

El compostaje de los residuos se llevó a cabo en la provincia de Cartago, Costa Rica, en el Campus Central del Tecnológico de Costa Rica, del 22 de agosto al 24 de setiembre del 2022.

2.1. Diseño Experimental

Por medio de un diseño experimental factorial se realizó la investigación, comparando dos tratamientos, Takakura (TK) y Pellets de madera (P), con cuatro repeticiones cada uno. Las variables analizadas fueron temperatura en grados Celsius, porcentaje de humedad y pH, mismas que fueron medidas durante 30 días. Los residuos consistieron en restos de la planta de Abacá, realizando un aporte de abacá semanal de tres kilogramos por tratamiento, con un único aporte de sustrato Takakura de 10 kilogramos el primer día del experimento y 0,6 kilogramos de Pellets por cada aporte semanal de abacá.

Para todos los tratamientos se utilizaron composteras de volteo, mismas que se rotaron todos los días del experimento para asegurar la homogeneidad de la mezcla.

2.2. Análisis de los datos

Se verificó la normalidad de los datos y realizó análisis de varianza de las variables evaluadas aplicando la prueba de Tukey (valor p de 0,05) y utilizando el software Infostat®.

3. Resultados

La Tabla 1 muestra datos promedio para la variable temperatura de los tratamientos Takakura (TKP) y Pellets (PP).

Tabla 1

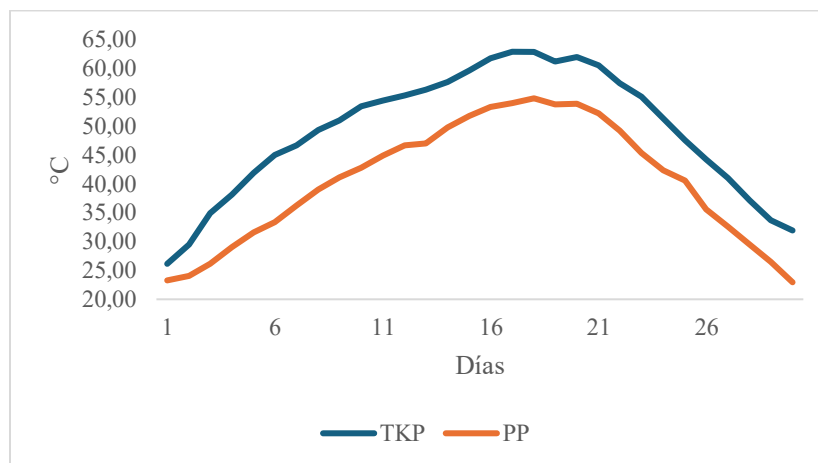
Temperatura promedio del experimento

Etapa Compostaje	TKP °C	PP °C
Mesófila	34,10	32,68
Termófila	56,02	50,98
Maduración	39,28	34,42

Se visualiza en la Figura 1 la curva de temperatura promedio.

Figura 1

Evolución de la temperatura promedio



La Tabla 2 presenta humedades promedio en el proceso de compostaje para Takakura (TKP) y Pellets (PP).

Tabla 2

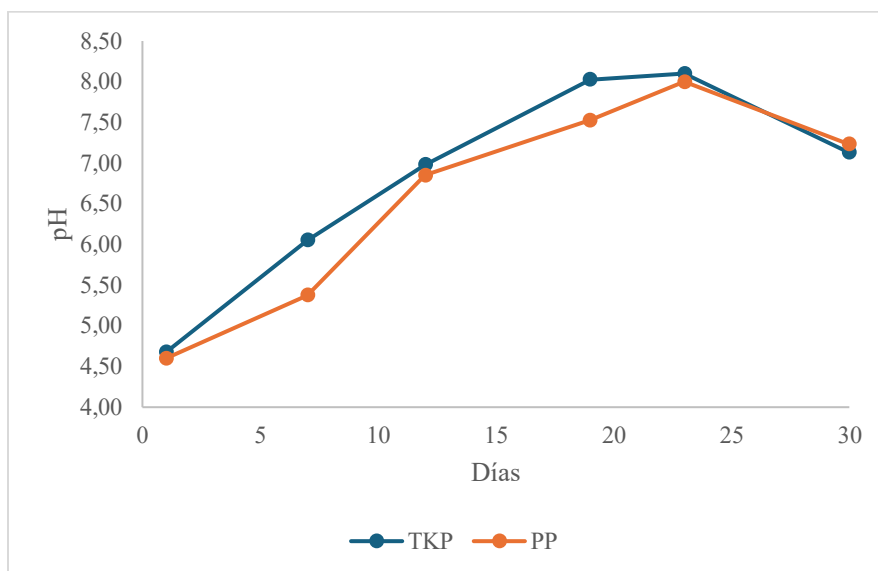
Humedades promedio (%) del proceso de compostaje

Día	TKP %	PP %
1	69,35	71,78
7	64,78	65,85
13	61,93	62,85
19	56,51	59,91
25	51,86	57,02
30	45,85	56,13

La Figura 2 muestra la curva promedio de pH durante el experimento.

Figura 2

Curva de pH promedio



La Tabla 3 muestra la eficiencia del proceso de compostaje, promediado para cada tratamiento. La misma se obtuvo aplicando la fórmula siguiente:

$$100 - \frac{\text{peso final del material} * 100}{\text{peso inicial del material}}$$

Tabla 3*Eficiencia del proceso de compostaje por tratamiento*

Tratamiento	Kg Abacá total	Kg inóculo	Kg de compost obtenido	% Eficiencia
Takakura	12	10	3,5	84,09
Pellets		2,4	3,3	77,08

4. Discusión

Como bien es conocido el proceso de compostaje inicia con la fase Mesófila, obteniéndose una temperatura promedio en este experimento de 26°C para el Takakura (TK) y de 23°C para Pellets de Madera (P). Básicamente corresponden a las temperaturas ambientales al inicio del experimento. Al sexto días los tratamientos TK alcanzaron la fase termófila con temperaturas superiores a los 45°C, mientras que los tratamientos P, superaron la barrera de los 40 grados al día once. Esto se debe a la utilización de microorganismos fermentativos provenientes de cáscaras de fruta o comida fermentada que se utiliza como inóculo en los tratamientos TK.

Durante 19 días los tratamientos TK se mantuvieron con temperaturas superiores a los 45°C alcanzando un máximo de 64°C para la repetición 1 y un promedio de 56°C en todos los tratamientos, mientras que los P, estuvieron por 12 días en fase termófila con un promedio de 50°C y máxima de 57°C., evidenciándose que el TK logró mantener temperaturas más elevadas, precisamente por el inóculo presente, no solamente mostrando aumentos marcados de temperatura con la incorporación de los residuos de abacá como en el caso de los Pellets. Al final del proceso, las temperaturas descendieron como era de esperarse, sin presencia de lixiviados ni insectos, con olor y color característico de un adecuado proceso de compostaje para ambos tratamientos y en todas las repeticiones.

Las pruebas estadísticas evidencian diferencias significativas ($p=0,0001$) siendo Takakura el que alcanzó mayor temperatura, superando al tratamiento con Pellets.

En cuanto a la humedad, se conoce que un contenido entre 50 a 70% se considera óptimo. Para el caso de los dos tratamientos, la humedad descendió conforme pasaron los días del

experimento, esto debido a la evaporación producto del aumento de temperatura dentro de las tómbolas de compostaje. Al día treinta del experimento la humedad en las repeticiones TK oscilaron entre 44,7% a 47,4% con un valor promedio de 45,85% Para el caso de P la humedad promedio final fue de 56%, resultando en diferencias significativas ($p=0,03$). A pesar de que P presenta mayor porcentaje de humedad, se encuentra dentro de los rangos óptimos, siempre y cuando se tome en cuenta que entre menos húmedo esté el material, puede favorecer aspectos como el transporte, debido al menor peso, así como la liberación de lixiviados.

Respecto al pH se evidenciaron tres fases similares para ambos tratamientos, dándose en la primera la liberación de ácidos orgánicos, esto durante 12 días, con valores para TK de 6,98 y de 6,85 para P. Seguidamente el pH aumenta dada la alcalinización, producto de la descomposición, oscilado en ambos tratamientos desde 7,2 hasta un máximo de 8,7, deduciéndose que los aumentos se realizaron de forma progresiva según avanzaba la descomposición del abacá. Durante la tercera etapa cuando se suspendió la adición de abacá el pH para ambos tratamientos comenzó a descender hasta valores promedio de 7,13 para Takakura y 7,23 en Pellets, indicando que el proceso de compostaje se comportó según lo esperado.

En cuanto a la efectividad, realizando un promedio de las repeticiones por tratamiento, el TK alcanzó una efectividad del 84% en comparación del 77% de los Pellets. Esta capacidad de disminuir los residuos de abacá está asociado al nivel de temperatura alcanzado por los tratamientos, y la humedad registrada, siendo de esperar que el TK fuera más eficiente, con diferencias significativas entre tratamientos ($p<0,0001$).

5. Conclusiones

Se concluye que los residuos de abacá pueden ser valorizados por medio de compostaje utilizando técnicas como Takakura o Pellets de madera, ya que para el caso de TK se alcanzaron temperaturas promedio en la fase termófila de hasta 56°C con máximas de 64°C, manteniéndose en fase termófila por 19 días, lo que contribuyó a una adecuada descomposición de los residuos de abacá, esto aunado a una humedad y pH adecuados. Los

Pellets, aunque alcanzaron temperaturas promedio menores en fase termófila (50°C), de igual manera degradaron los residuos de abacá, por lo que ambas técnicas pueden contribuir a una gestión adecuada de los residuos, desde la visión de la bioeconomía y la economía circular, ya que se aprovechan los subproductos de la cosecha y se puede obtener un material estabilizado que podría servir en la misma plantación de abacá como enmienda al suelo.

6. Agradecimientos

Se agradece a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión y a la Dirección de Posgrados del Tecnológico de Costa Rica, por el apoyo brindado para la ejecución del proyecto que da origen a la presente investigación.

7. Referencias

- Bioeconomía: potencial y retos para su aprovechamiento en América Central y el Caribe: manual de capacitación / Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. – San José, Costa Rica : IICA, 2020.
- Brenes-Peralta, L., Jiménez-Morales, M.F., Campos-Rodríguez, R. (2021). Food waste valorization through composting and bio-drying for small scale fruit processing agro-industries. *INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD*, 23(1), In press 2020. <https://doi.org/10.25100/iyc.v23i1.9623>.
- Campos Rodríguez, R., Torres-Contreras, A., Castro-Brenes, A. G., & Calderón-Cerdas, R. (2022). Capacidad productiva de un fertilizante orgánico elaborado a partir de residuos sólidos para el cultivo de lechuga. *Revista Tecnología En Marcha*, 36(1), Pág. 3–17. <https://doi.org/10.18845/tm.v36i1.5823>
- Chaves-Arias, R., Campos-Rodríguez R., Brenes-Peralta, L., & Jiménez-Morales M. F. (2019). Compostaje de residuos sólidos biodegradables del restaurante institucional del Tecnológico de Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*, 32(1), Pág 39–53. <https://doi.org/10.18845/tm.v32i1.4117>
- Irmak, S. (22 de Febrero de 2017). Intechopen. Recuperado el 1 de Diciembre de 2022, de <https://www.intechopen.com/books/biomass-volume-estimation-and-valorization-forenergy/biomass-as-raw-material-for-production-of-high-value-products>

- Organización de las Naciones Unidad para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2021. Fibras del Futuro. Abacá. Consultado el: 26 de enero de 2023. Disponible en: <https://www.fao.org/economic/futurefibres/fibres/abaca0/es/>
- Parker, R. (27 de marzo de 2023). Market Expert24. Obtenido de <https://www.techsciresearch.com/report/philippines-abaca-fiber-market/4290.html>
- Sambonino, B., Salavarría, J., Mieles, J., Mata, M. 2017. ANALISIS DEL MERCADO INTERNACIONAL DE LA FIBRA DE ABACÁ, SU OFERTA EXPORTABLE HACIA REINO UNIDO Y SU APOORTE EN EL CAMBIO DE LA MATRIZ PRODUCTIVA. Segundo Congreso Internacional en administración de negocios internacionales. Universidad Pontificia Bolivariana.

Artículo 5: Valorización de caña india para la elaboración de embalajes; revisión bibliográfica

Valorization of Indian cane for the production of packaging; Bibliographic review

Publicado en:

Valorización de caña india para elaboración de embalajes una breve revisión bibliográfica. Madrigal-Ramírez, Fiorella] ; Chaves-Arguedas, Fabiola ; Díaz-Herrera, Natalia ; Chaverri-Segura, Fabricio ; Campos-Rodríguez, Rooel ; Jiménez-Morales, María Fernanda ; Brenes-Peralta, Laura.. Hacia la circularidad y el residuo cero, p. 1201-1207. 2023, ISBN 978-84-09-53123-3. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9094887>

Resumen

Los embalajes usualmente generan residuos no renovables, por lo que se busca crear sustitutos orgánicos con materias primas naturales que son consideradas residuos en otros procesos. En este caso, se considera que los residuos de empresas dedicadas a la exportación de plantas ornamentales como la caña india (*Dracaena Fragans cv. Massangeana*), podrían presentar propiedades competentes para ser empleados como material de empaque. El objetivo de esta investigación es indagar por medio de una revisión bibliográfica las características de la caña india como potencial material en la elaboración de embalajes. Para ello se aplicó la metodología de revisión sistemática PRISMA, con énfasis en artículos científicos relacionados con la utilización de fibras naturales en la elaboración de embalajes con almidón natural como producto secundario. Dicha búsqueda se ejecutó en bases de datos académicas empleando como filtros: “embalajes con fibras naturales”, “embalajes compostables” y “embalajes biodegradables”. Como resultado, se determinó que el almidón funciona como aglutinante para formar embalajes con fibras de origen natural, siendo un componente principal del aglomerado, lo que resulta en un producto biodegradable a diferencia de los embalajes convencionales. Además, el proceso de elaboración del embalaje natural inicia con el corte de la fibra, el secado y posterior trituración. Seguidamente se mezcla con el almidón previamente cocido con agua, y continúa con la formación de la masa que se extiende sobre una superficie para ser prensada, nuevamente secada y finalmente proceder a la formación del empaque final. Se recomienda realizar pruebas de tensión y de caracterización morfológica a distintas proporciones de fibra y almidón hasta obtener una formulación eficiente para su respectiva aplicación.

Palabras clave: caña india; embalaje; almidón; orgánico.

1. Introducción

El proceso de embalaje de algunos productos o materias primas resulta de suma importancia para su almacenaje, transporte y protección, de modo que el embalaje se puede presentar a partir de diversas formas y materiales según las características del elemento a contener. La política actual europea basada en el Pacto Verde muestra nuevas propuestas para fomentar la producción de productos sostenibles que sean respetuosos con el medio ambiente, que se adapten a la economía circular y sean eficientes desde su uso hasta su eliminación. Este modelo europeo indica que el 80% del impacto está en base del diseño de los productos y la Directiva legislará por la sustitución de productos de un solo uso y con gran impacto en la huella de carbono, por productos de diseño eficiente, ecológico y que generen menos residuos, y a su vez pretenden ampliar este alcance a todos los productos posibles (Comisión Europea, 2022). Por ello la implementación de componentes naturales en la fabricación de embalajes representa una alternativa más ecológica y viable a futuro (abc pack, 2018).

La elaboración de empaques mediante el uso de aglutinantes y fibras naturales corresponde a un proceso favorable para el aprovechamiento de los residuos de ciertas agroindustrias, los cuales serían dedicados a la elaboración de productos de calidad debido a sus características y propiedades (Brooks, 2021). Estos embalajes podrían resultar de un material compuesto, el cual implica una matriz, un refuerzo y en algunas ocasiones de una interfase. La matriz corresponde a la fase que brinda la estabilidad del material compuesto, se encarga de mantener la forma, transmitir las cargas al refuerzo y proteger las fibras del refuerzo de la abrasión, el refuerzo por su parte brinda la resistencia y rigidez al material y la interfase se encarga de la adecuada compatibilidad entre la matriz y el refuerzo (Luna and Velasco, 2009).

Ahora bien, partiendo de la existencia de insumos en el mercado costarricense que podrían ser parte de dicho material compuesto y la necesidad de responder a las tendencias de los mercados donde se ubican los principales socios comerciales de este país como sería la Unión Europea (Inec Costa Rica, 2022), los residuos ornamentales podrían convertirse en una oportunidad. Uno de ellos es la caña india o *Dracaena Fragans* cv. *Massangeana*, la cual consiste en una planta proveniente de África, la cual es cultivada en Costa Rica con fines ornamentales tanto para comercialización nacional como internacional. Según Scoht &

Bladimir (2018), esta planta cuenta con un tallo leñoso y hojas estriadas de amarillo. La caña india también es conocida como palo de la felicidad o tronco del Brasil y pertenece a la familia Ruscaceae.

Dentro de la producción nacional se tienen exportaciones de entre 300 a 400 contenedores anuales de *Dracaena Fragrans Massangeana* e Itabo (*Yucca gigantea*), y una de las organizaciones más representativas para Costa Rica la cual ha iniciado procesos de investigación con el Tecnológico de Costa, exportó un volumen de 50 contenedores de estos productos en el 2021. Se estima, que el proceso de ensamblaje de las plantas ornamentales de exportación resulta en un 20% del total exportando; esto en un solo contenedor, representa cerca de 4,400 kilogramos (Rojas, 2023).

El proceso de elaboración de biomateriales a partir de fibras como las que provienen de las plantas anteriormente descritas requiere usualmente de un material aglutinante para poder generar los embalajes previstos. Uno de esos potenciales aglutinantes es el almidón. Este consiste en un polímero natural constituido por gránulos con estructuras macromoleculares, las cuales cuentan con características que dependen de la fuente de origen del almidón. Entre las propiedades del almidón se destaca la gelatinización, la cual consta de la pérdida de la semicristalinidad de los gránulos debido a la presencia de altas temperaturas. En el caso del almidón de yuca dicha temperatura en la que se da la gelatinización se encuentra entre los 60°C y 67°C (Meneses et al., 2007), mientras que la del almidón de maíz es de 62°C a 72°C (Canónico, 2003). La importancia de esta propiedad se debe a la viscosidad obtenida con el aumento en la temperatura al ser el almidón mezclado con agua (Meneses et al., 2007).

Previendo la necesidad en torno al aprovechamiento de materiales residuales de la industria ornamental costarricense, y a su vez los lineamientos del comercio global hacia productos naturales, con menor huella ambiental y biodegradables, el presente artículo tuvo por objetivo “Indagar por medio de una revisión bibliográfica las características de la caña india como potencial material en la elaboración de embalajes”. La importancia de esta investigación nace en que la elaboración de embalajes de rápida degradación a través de la utilización de un

material compuesto por caña india y almidón representa una potencial oportunidad para el sector ornamental nacional.

2. Metodología

El desarrollo de una revisión bibliográfica, al igual que muchos proyectos de investigación científica, necesitan de métodos útiles que permitan recopilar información de calidad y mantener la coherencia en el texto. La declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses) proporciona una guía metodológica dirigida a los autores que realizan revisiones sistemáticas (Page et al., 2021). Por ende, para el presente artículo se utilizó dicha guía.

Para las búsquedas se tuvo que adoptar una serie de estrategias y filtros. En primera instancia, se contó con cuatro revisores los cuales estaban encargados de distintos temas. Para dividir las tareas de los revisores se segmentó la revisión en cuatro temas fundamentales, la caña india, los embalajes, y la biodegradabilidad.

Para asegurarse de la calidad de la información recolectada se inició con una búsqueda en las bases de datos suscritas al Instituto Tecnológico de Costa Rica. Posteriormente, se expandió la búsqueda a distintos recursos electrónicos conocidos por los revisores. En cuanto a la fecha de publicación de los artículos se prefieren aquellos que sean más recientes; a partir del 2015, sin embargo, para algunos temas la información no está en constante actualización, por ende, por la importancia del artículo en el estudio se aceptan algunos con fechas antiguas, siendo el caso de 1994 como la publicación de mayor antigüedad.

Posteriormente, la información se filtró y seleccionó la más afín al objetivo de la investigación, para resultar en un análisis cuyos principales hallazgos se plasman en la sección de Resultados del presente artículo.

3. Resultados y Discusión

Con el fin de emplear fibra de caña india como potencial material en la elaboración de embalajes, es de importancia dar a conocer los requerimientos que conlleva la fabricación de

papel destinado a dicha aplicación. Por lo que, Reyes et al (2021) en su artículo “Desarrollo de papel artesanal a base de desechos agroindustriales tomando en cuenta el ciclo de vida del producto”, indican que el papel se encuentra conformado por fibras entrelazadas que permiten dar la estructura porosa que caracteriza al mismo. Asimismo, según CAPA (2017), el papel se puede clasificar en cuatro grupos entre los cuales se encuentra el papel para envases y embalajes que contempla cajas de cartón tanto ondulado como estucado, bolsas y sacos. Sus características de acuerdo con Cervera (2003) en “Envase y embalaje: la venta silenciosa”, consisten en una superficie rígida que permita mantener su forma original, que sea flexible con cierta resistencia al agua, la fricción y a la abrasión, que cuente con la estabilidad suficiente ante las condiciones atmosféricas y que retenga sus propiedades originales durante largos periodos de tiempo.

En la actualidad se utilizan residuos agroindustriales para la fabricación de empaques secundarios, permitiendo de esta forma reducir la presencia de estos desperdicios en rellenos sanitarios. Tamayo Gutiérrez et al. (2017) en su publicación “Aprovechamiento de residuos ligno-celulósicos en la elaboración de empaques secundarios ecológicos”, estudian el potencial de materiales lignocelulósicos como mesocarpio de coco, pseudotallo del banano y el arroz para la fabricación de un aglomerado que sustituya las cajas de cartón. Los resultados recopilados son favorables y puede considerarse que se obtuvieron empaques competitivos en comparación a los materiales previamente utilizados comercialmente para dicho fin.

Por ende, para determinar el uso de las fibras de caña india como materia prima para la elaboración de embalajes se recopilaron mediante diversos autores las propiedades químicas de los residuos agroindustriales empleados en dicha aplicación y de la caña india. Los datos obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 1

Composición química de los residuos agroindustriales de interés.

Componente	Composición (%)						Referencia
	Humedad	Lignina	Holocelulosa	Cenizas	Celulosa	Hemicelulosa	
Caña India	62	25.8	47.1	2.20	-	-	(Gutiérrez et al., 1994)
Pseudotallo de plátano	15.86-96.7	15-20	72.71	10.7	30-60	15-30	(Moreno and Neusa, 2021)
Coco	-	45.84	-	2.22	43.44	0.25	(Cifuentes and Salamanca, 2021)
Pseudotallo de banano	-	11	-	7.1	43.6	-	(Carchi, 2014)

Una vez realizada la comparación de las propiedades químicas de los distintos residuos agroindustriales presentes en la tabla anterior, se ahondó en publicaciones el caso costarricense como fue la obra “Utilización de desechos agroindustriales fibrosos en Costa Rica” (Gutiérrez et al., 1994). En esta se observa que para los componentes con porcentajes de lignina altos se requiere un proceso adicional previo a su uso para la fabricación de compuestos, que permita reducir en este componente si generar una degradación relevante en la celulosa.

La mayor parte de los plásticos tradicionalmente utilizados son a base de petróleo que tiene una sencilla manipulación a un bajo costo; sin embargo, esto genera una alta producción de carbono, generando un impacto negativo al ambiente ya que persisten por miles de años, es por eso que se la tendencia a futuro de elaborar embalajes biodegradables que reemplacen los plásticos tradicionales (Zhang and Chen, 2023). Es aquí donde entran los componentes del almidón, este es un carbohidrato polimérico disponible en muchos alimentos que contiene propiedades aglutinantes, ya que, al entrar en contacto con el agua, los monómeros de glucosa unidos por enlaces glucosídicos comienzan a gelatinizarse, lo cual, lo convierte en un elemento potencial para la elaboración de estructuras (Joshi et al., 2023).

El almidón tiene otros aspectos importantes por destacar, como es su funcionabilidad biodegradable y de bajo costo que, en la actualidad, es utilizado para generar envases de rápida degradación. Los envases de este tipo tienen una buena capacidad de formar una película, no obstante, sus propiedades mecánicas no son tan efectivas, por lo que resulta necesario combinarlo con otros compuestos según la finalidad del producto que se desee elaborar (Zhang and Chen, 2023).

Como refuerzo a las propiedades mecánicas del almidón es conveniente hacer la mezcla con fibras naturales, ya que son materiales de bajo costo y de composición renovable, tienen la característica de refuerzo de los polímeros al permitir la transferencia de tensiones aplicadas, de tal modo que no permite la deformación, por ello, son utilizadas en la producción de textiles, cuerdas, bandejas para alimentos, empaques, tarimas livianas y contenedores (Preda et al., 2019).

Respecto a lo anterior, se muestra el aprovechamiento de materiales que se consideran desechos naturales, como es el caso de las fibras, y se toma sus características para hacerlos valiosos en el mercado y potenciar sus propiedades al ser mezclados con otros componentes. Con ello se da lugar a un material compuesto que según su morfología es formado por una matriz y un refuerzo. De modo que las fibras de caña de india corresponden al refuerzo y el almidón representa la matriz del compuesto. Tamayo Gutiérrez et al. (2017) determinan que la elaboración de estos compuestos, para la fabricación de embalaje, consta de los siguientes pasos: triturado y secado de las fibras a temperatura ambiente, toma del porcentaje en peso del almidón y fibras según el contenido de cada uno en el compuesto, cocción del almidón hasta obtener una mezcla viscosa, agregado de la fibra a la mezcla viscosa de almidón. Posteriormente, se procede a la distribución de la mezcla en un recipiente, se prensa la mezcla para su correcta compactación, se deja secar durante 15 días a temperatura ambiente, se procede al autoclavado durante 1 hora a 120° y al secado durante 2 días para obtener el producto final.

Por otra parte, Luna & Valesco (2009) citan en su artículo que otro posible método de preparación de este compuesto es incorporando una interfase, la cual será responsable de

garantizar la compatibilidad entre la matriz y el refuerzo, siendo su proceso de elaboración de la siguiente forma: previo secado de la fibra natural, determinación del contenido de fibra, almidón y glicerol (interfase) en el compuesto, se mezcla de estos tres componentes hasta lograr la homogeneización. Luego se procede al almacenaje de la mezcla en bolsas selladas, posteriormente se deja en reposo por 24 horas para que el glicerol entre en contacto con los demás componentes, se procede a someter la mezcla a temperaturas entre los 150 a 160°C en un horno por 15 minutos, a la cual a su vez se le añade agua y se mantiene en constante agitación hasta lograr una mezcla gelatinosa, posteriormente se vierte la masa en un molde y se llevan a un secador por 8 horas a una temperatura de 45°C para obtener las muestras finales.

En ambos trabajos de estudio se destaca la obtención de un producto con propiedades mecánicas aceptables, competitivas en el mercado y con propiedades variables según tamaño de fibra, porcentaje de aglomerado y según el tipo de fibra empleada.

4. Conclusiones

Según el estudio de la composición química de diversas fibras naturales se concluye que la caña india, material de interés en el presente artículo, es viable como potencial material para la elaboración de embalajes. Para ello, se deben llevar a cabo una serie procesos previos que permitan modificar el porcentaje de lignina, así como el procedimiento óptimo para aprovechar al máximo sus propiedades en este ámbito.

El almidón es un producto de fácil acceso económico que resulta potencial para la elaboración de embalajes biodegradables por su función aglutinante, gracias a la capacidad que tiene de formar películas al entrar en contacto con el agua, generando una resistencia adecuada para estos embalajes; sin embargo, sus propiedades mecánicas se pueden mejorar según la combinación con otros compuestos.

Estas preparaciones de embalajes mediante materiales lignocelulósicos agrícolas son desde el punto de vista ambiental un proceso limpio y sin la necesidad de uso de adhesivos o sustancias de carácter petroquímicas usuales en la fabricación del cartón comercial.

5. Recomendaciones

Se recomienda el inicio del estudio práctico del uso de fibras de caña india en la aplicación de embalajes, mediante la implementación de pruebas experimentales tales como caracterizaciones morfológicas, tanto de las fibras como del prototipo a elaborar, y a su vez, la aplicación de ensayos mecánicos de las fibras de caña de india y del material compuesto junto al almidón, para determinar la factibilidad de uso con características competitivas en el mercado.

6. Referencias

- abc pack, 2018. La historia del embalaje [WWW Document]. URL <https://www.abc-pack.com/noticias/la-historia-del-embalaje/> (accessed 2.26.23).
- Brooks, R., 2021. Creación del molde para la fibra moldeada en el embalaje para alimentos [WWW Document].
- Canónico, M., 2003. AGREGACIÓN EN GRÁNULOS DE ALMIDÓN. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO, Querétaro, México.
- CAPA, 2017. Cámara Argentina del Papel y Afines [WWW Document].
- Carchi, D., 2014. Aprovechamiento de los Residuos Agrícolas provenientes del cultivo de Banano para obtener Nanocelulosa . Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Cervera, A., 2003. Envase y Embalaje: (La Venta Silenciosa), Segunda. ed. Madrid.
- Cifuentes, Y., Salamanca, L., 2021. Propuesta de un empaque a base de fibra de estopa de coco para la empresa Palma Coco en Villavicencio-Meta. Universidad Antonio Nariño, Villavicencio.
- Comisión Europea, 2022. Pacto Verde: nuevas propuestas para hacer de los productos sostenibles la norma y fomentar la independencia de Europa en materia de recursos [WWW Document]. URL https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/ip_22_2013 (accessed 3.14.23).
- Gutiérrez, J., Carpio, I., Alpízar, L., 1994. Utilización de desechos agroindustriales fibrosos en Costa Rica. Revista de Biología Tropical 42, 65–71.

- Inec Costa Rica, 2022. EXPORTACIONES ALCANZAN 4 434 MILLONES DE DÓLARES EN EL TERCER TRIMESTRE 2022 [WWW Document]. Inec Costa Rica.
- Joshi, P., Gupta, K., Uniyal, P., Jana, A., Banerjee, A., Kumar, N., Ghosh, D., Srivastava, M., Ray, A., Khatri, O.P., 2023. Cassava starch-derived aerogels as biodegradable packaging materials. *Mater Chem Phys* 296, 127282. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2022.127282>
- Luna, G., Velasco, R., 2009. ALMIDÓN TERMOPLÁSTICO DE YUCA REFORZADO CON FIBRA DE FIQUE: PRELIMINARES FIQUE'S FIBER REINFORCED THERMOPLASTIC STARCH OF CASSAVA: PRELIMINARY HÉCTOR VILLADA. Año 76, 145–151.
- Meneses, J., Corrales, C., Valencia, M., 2007. SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN POLÍMERO BIODEGRADABLE A PARTIR DEL ALMIDÓN DE YUCA. *Revista EIA* 8, 57–67.
- Moreno, D., Neusa, J., 2021. EVALUACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE UNA FIBRA TEXTIL A PARTIR DE PSEUDOTALLO DE PLÁTANO. FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA, Bogotá D.C.
- Page, M.J., McKenzie, J.E., Bossuyt, P.M., Boutron, I., Hoffmann, T.C., Mulrow, C.D., Shamseer, L., Tetzlaff, J.M., Akl, E.A., Brennan, S.E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J.M., Hróbjartsson, A., Lalu, M.M., Li, T., Loder, E.W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, L.A., Stewart, L.A., Thomas, J., Tricco, A.C., Welch, V.A., Whiting, P., Moher, D., Yepes-Nuñez, J.J., Urrútia, G., Romero-García, M., Alonso-Fernández, S., 2021. Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Rev Esp Cardiol* 74, 790–799. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016>
- Preda, M., Popa, M.-I., Mihai, M.M., Șerbănescu, A.A., Holban, A.M., 2019. 14 - Natural Fibers in Beverages Packaging, in: Grumezescu, A.M., Holban, A.M. (Eds.), *Trends in Beverage Packaging*. Academic Press, pp. 409–424. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816683-3.00014-1>
- Reyes, A.A.M., Guerrero, D.M.C., González, A.R., 2021. Desarrollo de papel artesanal a base de desechos agroindustriales tomando en cuenta el ciclo de vida del producto /

- Development of handmade paper based on agroindustrial waste considering the product life cycle. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research* 4, 3134–3145. <https://doi.org/10.34188/bjaerv4n3-027>
- Rojas, M., 2023. Producción y residuo de las fibras naturales en Costa Rica.
- Scoht, A., Bladimir, H., 2018. Influencia de la fertilización en la producción de follaje de corte del cultivo de palo de Brasil (*dracaena fragans* (l) ker – gawl) en el anexo de Rio Blanco - Chanchamayo. UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN, La Merced, Perú.
- Tamayo Gutiérrez, E., Sarasty Miranda, O., Mosquera Quelal, E., 2017. APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS LIGNO-CELULÓSICOS EN LA ELABORACIÓN DE EMPAQUES SECUNDARIOS ECOLÓGICOS. *Industrial Data* 20, 37. <https://doi.org/10.15381/idata.v20i2.13959>
- Zhang, M., Chen, H., 2023. Development and characterization of starchsodium alginate-montmorillonite biodegradable antibacterial films. *Int J Biol Macromol* 233, 123462. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123462>

Artículo 6: Evaluación del uso potencial de los residuos de itabo (*Yucca elephantipes regel*) para la producción de papel

Evaluation of the potential use of itabo waste (*Yucca elephantipes regel*) for paper production

Publicado en:

Evaluación del uso potencial de los residuos de itabo (*Yucca elephantipes regel*) para la producción de papel. Masis-Céspedes, Yoselyn Charlyn; Campos-Rodríguez, Roel; Jiménez-Morales, María Fernanda; Brenes-Peralta, Laura Patricia. Hacia la circularidad y el residuo cero, p. 1313-1319.2023, ISBN 978-84-09-53123-3.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9094871>

Resumen

Las fibras naturales se están convirtiendo hoy en día en una parte integral de la vida cotidiana, lo que a su vez está generando residuos en campo y en el proceso de fabricación de empaque, textiles y otros productos de uso diario, ya que se utiliza como materia prima. En Costa Rica existen plantas herbáceas con potencial de proveer fibras vegetales para el desarrollo de biomateriales, las cuales, no han tenido la suficiente investigación. Una de estas plantas es el Itabo (*Yucca elephantipes*), la cual, se ha utilizado culturalmente como cerca viva, paravientos, o sus flores como platillo tradicional. Por tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el uso potencial de residuos de Itabo como alternativa para la producción de papel artesanal. Se realizó una investigación considerando la información disponible en textos digitales y físicos hasta octubre 2022, con la finalidad de examinar la bibliografía publicada y situarla en el contexto de la utilización del itabo para la producción de papel. Se valoraron teóricamente las características anatómicas, físicas, químicas y termo gravimétricas de la fibra obtenida del tallo como de las hojas residuales del Itabo, y las propiedades físicas, mecánicas y ópticas adecuadas para su uso como papel. Se demuestra que las fibras obtenidas a partir del itabo tienen el potencial para producir papel artesanal, el cual, muestra características favorables para la producción, que al combinarlo en diferentes proporciones y tipos de pulpado, mejoran la calidad del producto final.

Palabras clave: fibras naturales, papel artesanal, biomaterial.

1. Introducción

La *Yucca Elephantiphes*, es conocida en Costa Rica como “Itabo”, aunque casi en todas partes de América Central se conoce como “izote”. Pertenece a la familia Asparagaceae y género Yucca, el cual posee alrededor de 40 especies, más en Costa Rica se han conocido ampliamente dos: itabo y el daguillo (Blanco & Campos, 1991).

Históricamente, el género Yucca se había usado desde antes de la llegada de los españoles al continente americano. Generalmente se obtenía la fibra de las hojas, de las cuales, se elaboraban cuerdas, sandalias, ropa, redes y otros utensilios (Vázquez & Munguia, 2015). En Estados Unidos, plantas del mismo género del Itabo, se utilizaban para producir papel y según Blanco & Campos (1991) la *Yucca elephantipes* se utilizó en el pasado para hacer papel cuyo color dependía del estado de la hoja.

Tomando esto como referencia y que la fabricación de pulpa para papel proveniente de fuentes maderables es en la actualidad uno de los sectores industriales más importantes en el mundo, pero que los procesos industriales involucrados en su producción consumen grandes cantidades de energía y de agua y requiere grandes superficies de terreno en monocultivos principalmente (Altesor et al., 2008), se hace necesario evaluar la potencialidad para la fabricación de papel a través de fibras no convencionales, como el Itabo.

Al ser el itabo una planta muy rústica que se adapta a topografías difíciles, pendientes pronunciadas y suelos con poca fertilidad, los costos de producción se reducen al mínimo, teniendo una alta rentabilidad en el cultivo (MAG, 1986). Es por ello que la utilización de esta planta en el mercado podría representar una oportunidad de negocio y diversificación de la producción agrícola en algunas zonas más vulnerables del país. Debido a esto, en este estudio se propone evaluar el potencial de la fibra del Itabo (*Yucca Elephantipes*), como alternativa para la producción de papelería a través de la revisión bibliográfica existente, como material inicial para su posible aprovechamiento como material alternativo.

2. Metodología

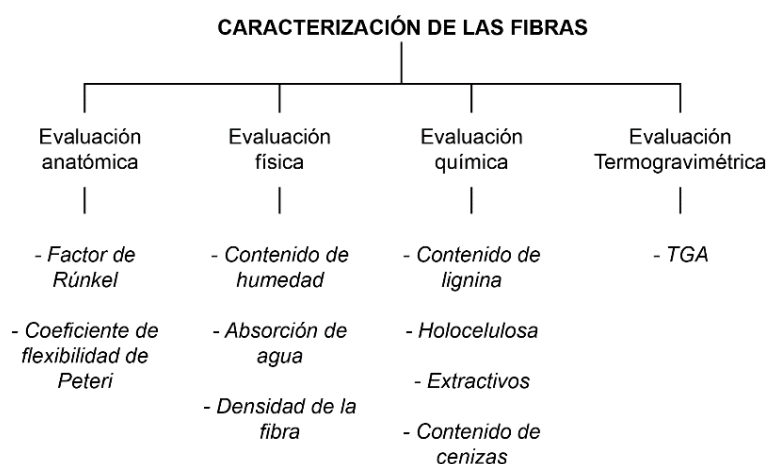
Se desarrolla esta investigación considerando la información disponible en textos digitales y físicos hasta octubre 2022, con la finalidad de examinar la bibliografía publicada y situarla en el contexto de la utilización del itabo para la producción de papel.

2.1. Caracterización de la fibra

Se caracterizaron las fibras anatómica, física, química y termogravimétricamente basados en la revisión de resultados obtenidos en estudios previos (Figura 1).

Figura 1

Caracterización de las fibras del itabo

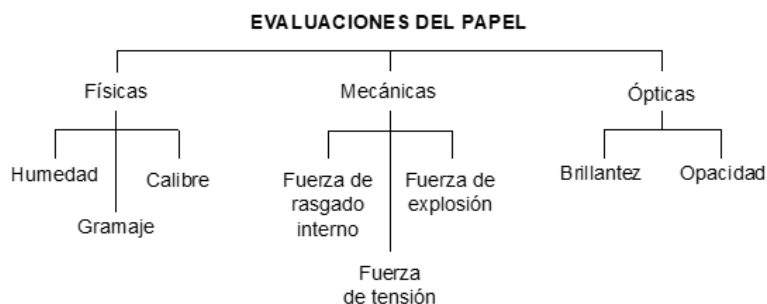


2.2. Propiedades del papel

Se evaluaron las propiedades físicas, mecánicas y ópticas de los papeles obtenidos utilizando itabo como materia prima (Figura 2).

Figura 2

Caracterización de las propiedades del papel obtenido del itabo.



3. Resultados y discusión

3.1. Caracterización de la fibra

3.1.1. Evaluación anatómica

En la producción de papelería se utilizan diversas evaluaciones para determinar si un material es apto para producir pulpa; dos de ellas son el factor de Rúnkel y la relación de Peteri. En el Tabla 1 se encuentran los valores e interpretación del factor de Rúnkel. A su vez, el coeficiente de flexibilidad de Peteri es un valor nos da una idea de la flexibilidad relativa de la fibra durante la fabricación de papel. Entre más alta es esta cifra, más largas que ancha son las fibras, por lo tanto, menos flexibles (Cálix, 1970).

Tabla 1

Valores e interpretación del factor de Rúnkel (Cálix, 1970).

Valor	Interpretación	Grupo
<0.25	Excelente para papel	I R
De 0.25 a 0.50	Muy bueno para papel	II R
De 0.50 a 1.00	Bueno para papel	IIIR
De 1.00 a 2.00	Regular para papel	IVR
>2.00	Malo para papel	VR

La determinación de los índices de calidad de las pulpas para papel se realiza bajo las siguientes ecuaciones (Tamarit, 1996).

Coeficiente de Peteri (1):

$$Cp = \frac{L}{D} \quad (1)$$

Donde: L = longitud de la fibra y D = diámetro de la fibra

Relación de Runkel (2):

$$Rr = \frac{2w}{l} \quad (2)$$

Donde: l = diámetro del lumen y 2w = grosor de la pared de la fibra

Tomando como referencia la Tabla 1 sobre el Factor de Rúnkel y la bibliografía evaluada (Blanco & Campos, 1991), podemos determinar que las hojas del itabo se clasifican en el grupo IIIR, por lo cual, se afirma que son buenas para la producción del papel. Con respecto al coeficiente de Peteri, se obtuvo que bajo un Canadian Standard Freness (CSF) de 365 ml, el valor es el más bajo y que para el caso del papel es favorable, ya que la fibra tendrá mayor flexibilidad.

Por su parte, en el estudio presentado por Gutiérrez et al. (1994) la metodología de extracción de lignina consistió en una etapa mecánica de macerado del tallo y luego en la solución Jeffrey (ácido nítrico y dicromato de sodio al 10%), por lo tanto, se dificulta comparar los resultados con los obtenidos por Blanco & Campos, en 1991 para las hojas del itabo. Aun así, los valores muestran que, para esta metodología, el factor de rúnkel se sitúa en el grupo IVR, por lo que se clasifica como regular para la producción de papel. En el caso del coeficiente de Peteri, se obtuvieron valores más favorables en comparación con las hojas del itabo, por lo cual, podemos deducir que las fibras del tallo tienen mayor flexibilidad que las fibras obtenidas de las hojas, bajo métodos de extracción de lignina diferentes.

3.1.2. Evaluación física

En el estudio desarrollado por Blanco & Campos (1991) con las fibras obtenidas de las hojas del itabo, se obtuvo un porcentaje de humedad (en base húmeda) del 48,4%. Para este mismo estudio, se obtuvo una densidad aparente de 0.459 (para un CSF de 365), 0.417 (para CSF de 470) y 0.280 (en el caso de CSF de 570). No se reportaron valores para la absorción de agua. Gutiérrez et al. (1994) determinaron que la humedad obtenida de la pulpa obtenida de los tallos del itabo fue del 83% en base húmeda. No se evaluó la densidad ni el valor de absorción de agua.

Por su parte, Gutiérrez & Blanco (1997), obtuvieron un valor promedio del 83% en base húmeda para los tallos del itabo, además, determinaron su peso específico promedio, el cual fue del 0.44 y su densidad verde y seca, obteniendo un valor de 1.108 y 0.624 respectivamente. No se reportó valor para absorción de agua.

Con estos valores, podemos deducir que las hojas de itabo contienen menor cantidad de humedad que el tallo, además, que la densidad de las fibras del tallo del itabo es mayor que la fibra de las hojas. Tomando en consideración que el potencial de un material para realizar pulpa para papel puede ser determinado por el contenido de humedad, ya que, un alto contenido de humedad provocaría una alta contracción volumétrica, de alrededor de 40%, lo que disminuye la calidad del papel y el rendimiento. Esto se evidencia en el estudio de Gutiérrez & Blanco (1997), donde el valor de contracción volumétrica para el itabo fue del 38%.

En ninguno de las investigaciones consultadas sobre la producción de papel a base de itabo se encontraron valores para absorción de agua.

3.1.3. Evaluación química

Blanco & Campos (1991), mencionan que la pulpa realizada a partir de las hojas de itabo contiene un porcentaje de cenizas (%BS) del 4,94%, mientras que un valor de extractivos (%BS) del 29,8%. En este estudio no se reportaron resultados del contenido de lignina ni celulosa.

A su vez, Gutiérrez et al. (1994), determinaron que la pulpa a partir del tallo del itabo contenía un porcentaje del 3.4% de cenizas, 19.6% de contenido de lignina, 54.5% de holocelulosa y 22.5% de extractivos totales (todos los valores en %BS). Gutiérrez & Blanco (1997) utilizaron estos valores bibliográficos anteriormente mencionados para su estudio.

En la producción de papel, los altos porcentajes de holocelulosa son esenciales para generar productos de mayor calidad y reducir el uso de productos químicos para la degradación de la lignina (Moreno & Protacio, 2012). En el caso del itabo, evidenciamos un alto porcentaje de holocelulosa, que a su vez supone una menor cantidad de químicos para su procesamiento; así mismo, podemos evidenciar un bajo contenido de lignina. Los extractivos son relevantes porque afectan a la adaptabilidad de la fibra para ser combinada con materiales sintéticos u otras fibras naturales (del Río & Gutiérrez, 2006). Para el caso de ambos estudios citados,

tienen un porcentaje similar de extractivos, aun cuando la parte de la planta empleada es diferente, lo que demuestra que el uso de la fibra debe tener una respuesta diferente en función del material utilizado. Moreno y Protacio mencionan que las fibras con baja cantidad de extractivos simplifican la transformación y adaptabilidad para reforzar biomateriales de uso estructural.

Para el caso del contenido de cenizas, ambas partes de la planta (tallo y hojas) mostraron valores similares. Comparándolas con el estudio de Jiménez et al. (2016) los valores presentados son más bajos, ya que en este estudio se evaluó la caracterización fisicoquímica de cuatro especies de Agaves con potencialidad en la obtención de pulpa de celulosa para elaboración de papel y se obtuvo un promedio de 11.35% de cenizas.

3.1.4. Evaluación termo gravimétrica

Para ninguno de los estudios analizados sobre la utilización del itabo para la producción de papel se realizó esta evaluación, por lo que, no existe un marco para comparar los resultados. Aun así, podemos mencionar como referencia el estudio de Salvador et al. (2017), donde se menciona que, para las fibras naturales de lino, algodón, cáñamo y kenaf, la temperatura crítica de degradación es de 320-350 °C.

Además, Yang et al. (2005), indican que los materiales lignocelulósicos naturales se descomponen térmicamente entre 150-500 °C, especialmente las hemicelulosas, que se degradan entre 150-350 °C, la celulosa entre 275-350 °C, y la lignina a una temperatura entre 250-500 °C.

3.2. Propiedades del papel

3.2.1. Evaluación física

El gramaje se define como la masa del papel por unidad de superficie y se expresa en gramos por metro cuadrado (g/m^2). Hasta un gramaje de 119 g/m^2 se habla de papeles, desde 120 g/m^2 de cartulinas y desde 300 g/m^2 a cartones. Por regla general, cuanto mayor es el gramaje de un papel, mayor será su grosor (Chiluiza & Hernández, 2009). Comúnmente, esta evaluación se realiza bajo el estándar TAPPI T-410 om 19 (Tappi, 2008).

Los resultados obtenidos por Blanco & Campos (1991) y Gutiérrez & Blanco (1997) los valores de gramaje son menores a 119 g/m^2 , por lo que entran dentro de la categoría de papel. Si deseáramos obtener un papel más liviano, podríamos optar por realizar papel a partir de las hojas de itabo, y si, por el contrario, deseamos un papel más robusto, podremos utilizar el tallo. Así mismo, se muestra que el tipo de pulpeo y el freeness influirá en el gramaje del papel, siendo, el método de Monosulfito alcalino y el freeness de 570 las variables que presentaron un valor mayor para gramaje.

Para evaluar las propiedades físicas del papel más rigurosamente, se puede determinar la humedad de las hojas utilizando el estándar ASTM D-644-76 (ASTM, 2021) y el calibre bajo la regla TAPPI T 411 om 89 (Tappi, 2015) y con ello, obtener más información sobre la calidad del material final. Es importante mencionar que, para los estudios investigados, no se encontraron valores para estas evaluaciones.

3.2.2. Evaluación mecánica

Los valores presentados para la evaluación mecánica (factor de rasgado e índice de explosión), por Blanco & Campos (1991) y Gutiérrez & Blanco (1997) fueron menores a los que se obtienen de las fibras maderables (EDF, 1996). Aun así, esto no refiere a baja calidad en fibras, si no, al tipo de papel que se podría realizar con este tipo de fibra. Blanco & Campos (1991) proponen que la fibra de itabo puede ser utilizada para la producción de fibra absorbente, y si se mezcla con pulpas de fibra larga se pueden obtener otros tipos de papeles, para con ello, mejorar las propiedades mecánicas. Para el índice de rasgado, los valores obtenidos con el pulpeo del itabo por el método del sulfato son similares a los obtenidos por materias primas maderables, como el eucalipto, melina o pino.

Así mismo, los valores para factor de explosión varían con respecto a la parte de la planta a utilizar y el tipo de pulpeo. El factor de rasgado tiene menores variaciones entre la parte de la planta utilizada y el tipo de pulpeo, aunque en el caso del pulpeo realizado con monosulfito alcalino, el valor bajó considerablemente. De igual manera, se presenta la misma situación con el índice de tensión, aunque en este caso, el valor más bajo fue presentado por un freeness de 570.

3.2.3. Evaluación óptica del papel

Blanco & Campos (1991) y Gutiérrez & Blanco (1997) demuestran que el papel realizado con hojas de itabo tiene una baja brillantez y un porcentaje de opacidad bastante alto, para los tres freeness. En el caso del papel realizado con el tallo, la brillantez aumenta considerablemente dependiendo del método de pulpeo, ya que, en el caso de NaOH, el valor fue inclusive más bajo que el obtenido con hojas de itabo, y utilizando Monosulfito alcalino aumenta inclusive el doble del valor de NaOH.

Se hace importante mencionar que, la brillantez siempre será menor a los obtenidos en papeles comerciales, ya que los métodos de extracción de lignina y la tecnificación de los procesos para la formación de hojas es menor (rústica). En el caso de la opacidad, para ambos casos evaluados, el valor es bastante alto y podría compararse con las hojas comerciales.

4. Conclusiones

Las fibras del itabo se pueden clasificar en base al factor de rúnkel como buenas para la producción de papel, además, el valor del factor de Peteri indica que la fibra tendrá mayor flexibilidad y una buena superficie de contacto, por tanto, una buena unión fibra-fibra. Aunque tanto el tallo como las hojas de itabo presentan buenas características anatómicas, se determina que, las hojas tienen mejores características físicas como menor contenido de humedad (lo que disminuye la contracción volumétrica y mejora eventualmente los rendimientos finales) y menor densidad. Los contenidos de lignina y holocelulosa se ubican dentro de los rangos aceptables para producción de papel. Con respecto al contenido de cenizas, ambas partes de la planta presentaron porcentajes mayores a los de las maderas comerciales, aun así, fueron menores que otras especies no maderables.

Las propiedades del papel a base de tallo y hojas de itabo muestran valores favorables para la producción artesanal. Su gramaje es menor a 119 g/m², por lo que entran dentro de la categoría de papel, aunque se puede aumentar el gramaje según el requerimiento. Las propiedades mecánicas son menores a las obtenidas con fibras maderables, más estas pueden ser mejoradas considerablemente si se escoge correctamente el método de pulpeo, el freeness

y la parte de la planta a utilizar. En el caso de los valores investigados para este estudio, se determina que una buena combinación, que podría arrojar mejores propiedades mecánicas es un freeness de 365 o 470 con el pulpeo al NaOH. Aunque la opacidad de las hojas es bastante alta, su brillantez es bastante bajo, factor que podría mejorarse al utilizar algún tipo de blanqueo en la pulpa.

Las fibras obtenidas a partir del itabo tienen el potencial para producir papel artesanal, el cual, difiere del papel producido comercialmente inicialmente por los métodos de producción y características propias de la planta como composición química y mecánica del papel obtenido. Aun así, su potencial se puede aprovechar para el desarrollo de papel.

Al poder fabricar papel con itabo se contribuye a la valorización de los residuos generados a partir de esta planta, por lo que se estarían aplicando principios de economía circular y bioeconomía, lo que evidentemente aporta a la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Es importante continuar con estudios en laboratorio y campo para poder concretar la fabricación del papel, además de valorar económica y ambientalmente todo el proceso productivo.

5. Referencias

- Altesor, Alice., Eguren, Gabriela., Mazzeo, Nestor., Panario, Daniel. & Rodríguez, Claudia. (2008). La industria de la celulosa y sus efectos: certezas e incertidumbres. J. Sci. Ecología austral. v.18 n.3
- ASTM INTERNATIONAL. (2021). (Norma D-644-76).
<https://www.astm.org/Standard/alpha-lists/D.html>
- Blanco, L & Campos, R. (1991). Pulpeo de hojas de Itabo (*Yucca elephantipes*. Regel) creciendo en Costa Rica. J. Sci. Ingeniería, 1(2), 31-35. 10.15517/RING.V1I2.7577
- Cáliz, R. (1970). Identificación dendrológica y anatómica de 37 especies arbóreas de Honduras [Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza]. Repositorio Biblioteca.
<https://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/2318>

- Chiluiza, C. & Hernández, J. 2009. ELABORACIÓN DE PAPEL ARTESANAL DE CAÑA GUADUA (*Guadua angustifolia* K). [Tesis de maestría, Facultad de ingeniería química y agroindustria, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1901/1/CD-2457.pdf>
- del Río, J.C.; Gutiérrez, A. (2006) Chemical composition of abaca (*Musa textilis*) leaf fibers used for manufacturing of high quality paper pulps. *J. Sci. Agric. Food Chem.* (54) 4600–4610. DOI: 10.1021/jf053016n
- Environmental Defense Fund [EDF]. (1996). Nonwood plant fibers as alternative fiber sources for papermaking. Paper Task Force, 13. https://s3.amazonaws.com/EPNPaperCalc/documents/1634_WP13.pdf
- Gutiérrez, J. & Blanco, L. (1997). Evaluación de los tallos de caña india (*Dracaena massangeana*) e itabo (*Yucca elephantipes*) para la producción de pulpa para papel. Repositorio Biblioteca. Instituto de investigaciones en ingeniería, Universidad de Costa Rica.
- Gutiérrez, J., Carpio, I. & Alpízar, L. (1994). Utilización de desechos agroindustriales fibrosos en Costa Rica. *J. Sci. Biología Tropical*, 42(2), 65-71. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/28694>
- Jiménez, Edith., Prieto, Francisco., Prieto, Judith., Acevedo, Otilio. & Rodríguez, Rodrigo. (2016). Caracterización fisicoquímica de cuatro especies de agaves con potencialidad en la obtención de pulpa de celulosa para elaboración de papel. *J. Sci. Dyna*, Universidad Nacional de Colombia (83), 233-243. <http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v83n197.52243>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG]. (1986). Determinación del área de siembra. Aspectos generales sobre el cultivo y comercialización de ITABO en San Ignacio de Acosta. Repositorio. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-1514.pdf>
- Moreno, L.O.; Protacio, C.M. (2012) Chemical composition and pulp properties of abaca (*Musa textilis* N'ee) cv. Inosa harvested at different stages of stalk maturity. *Ann. J. Sci.Trop. Res* (34), 45–62. DOI:10.32945/atr3423.2012
- Salvador, M.; Amigó, V.; Nuez, A.; Sahuquillo, O.; Llorens, R. & Martí, F. (2017). Caracterización de fibras vegetales utilizadas como refuerzo en matrices

- termoplásticos. J. Sci. Clean. Prod. (18) 573–580.
http://www.upv.es/VALORES/Publicaciones/CNM08_Fibras_naturales.pdf
- Tamarit, J. (1996). Determinación de los índices de calidad de pulpa para papel de 132 maderas latifoliadas. J. Sci. Madera y Bosques, 2(2), 29-41.
<https://www.redalyc.org/pdf/617/61720204.pdf>
- TAPPI. (2008). Grammage of paper and paperboard (weight per unit area), Test Method TAPPI/ANSI T 410 om-19
<https://imisrise.tappi.org/TAPPI/Products/01/T/0104T410.aspx>
- TAPPI. (2015). Thickness (caliper) of paper, paperboard, and combined board (T411)
<https://www.tappi.org/Search/?srchtext=T+205>
- Vázquez, L. & Munguia, G. (2015). Fibras vegetales y las artesanías en el Estado de México. México, Universidad Autónoma del Estado de México, ISBN: 978-607-422-614-0
<http://ri.uaemex.mx>
- Yang, H.-S.; Wolcott, M.; Kim, H.-S. & Kim, H.-J. (2005) Thermal properties of lignocellulosic filler-thermoplastic polymer bio-composites. J. Therm. Anal. Calorim. (82) 157–160.

Artículo 7: Efecto del Sustrato de Caña India en camas de cultivo bajo un sistema acuapónico con tilapias.

Effect of Indian Cane Substrate in culture beds under an aquaponic system with tilapia.

Vaquerano Pineda, Felipe; Campos-Rodríguez. Rooel; Brenes Peralta, Laura, Jiménez Morales, María Fernanda.

Resumen

En este ensayo se pretendió determinar el efecto del uso de fibra picada de caña india fresca en combinación con el sustrato de piedra volcánica roja en las camas del cultivo de cebollinos y lechuga bajo un sistema acuapónico con tilapias.

La incorporación de fibra picada de caña india fresca no afectó el desarrollo del cultivo vegetal, pero alteró las condiciones de calidad de agua llegando a niveles que afectaron negativamente el cultivo de peces.

Introducción

Los sistemas de producción hidropónica implican recirculación del agua portadora de nutrientes para el cultivo, adicionándolos al agua en forma de sales que en algún momento alcanzan concentraciones que limitan el desarrollo de las plantas, por lo que debe descartarse, cambiándola por una nueva solución nutritiva. En los sistemas recirculados de acuicultura el cultivo de organismos acuáticos requiere de sistemas de filtración para la remoción de metabolitos provenientes de la actividad y mantener la calidad de agua, cuando los filtros se saturan, deben limpiarse descartando los metabolitos. En ambos casos el descarte de agua con nutrientes y metabolitos requiere un esfuerzo en mano de obra con implicaciones financieras y ambientales. En los sistemas acuapónicos se integran la acuicultura y la hidroponía, donde los metabolitos (nutrientes) de los organismos acuáticos sirven de fertilizante para las plantas, y estas a su vez extraen los nutrientes del agua, funcionando como filtro purificador del agua para el cultivo de los organismos acuícolas. La optimización de las capacidades productivas de estos dos componentes es afectada las variables de cada especie en el cultivo y las interacciones entre ellas. Uno de los sustratos más utilizados en las camas del cultivo es la piedra volcánica roja debido a sus características de porosidad que favorecen el desarrollo de un ecosistema de microorganismos saprobiontes que desdoblan la materia orgánica a nutrientes que pueden ser absorbidos por los cultivos, sin embargo, el peso

que aporta este tipo de sustratos obliga a construir estructuras robustas que logren contener la presión de el sustrato, el agua y el cultivo. Por lo anterior, es importante explorar el uso de sustratos porosos de menor densidad, como las fibras naturales que en combinación con la piedra volcánica, resultan en una posibilidad para reducir la inversión en instalaciones de alta resistencia estructural.

En estos sistemas se pueden plantar cultivos como el cebollín. Las hojas del cebollín son tubulares y basales, formando una roseta erecta o dispersa que brota de los pequeños bulbos subterráneos y alcanzan hasta 45 cm de altura. Son de color verde oscuro y sin vello (glabras) (Bernal et al., 2011). En relación con la altura de planta (Alfaro, 2023), reporta que la desde la base del cuello de la planta hasta la altura de las hojas más altas varía entre 30 cm y 40 cm.

Otro de los cultivos que se puede utilizar es la lechuga. En un experimento se examinó la acumulación de materia seca en diversas variedades de lechuga y notaron que el peso seco total exhibe una curva sigmoideal. Los resultados revelan dos fases claramente delimitadas en la producción de materia seca, siendo más del 50% generada durante la segunda fase, que abarca el proceso de “arrepollamiento”, alcanzando aproximadamente 10 g de materia seca por planta en 70 días, con una altura estimada de 23 +- 3 cm. (Carranza et al., 2009).

Es importante saber que los parámetros de calidad de agua en sistemas acuapónicos están asociados al balance de metabolitos que se acumulan en el sistema debido al cultivo de los peces, que producen excretas y exudados, los cuales se mineralizan gracias a los procesos de metabolismo microbial que se desarrollan en el sustrato de las camas de cultivo y sistema de filtración, transformando los restos de alimento no consumido y los metabolitos de los peces en nutrientes para los cultivos vegetales en las camas. En esta línea se busca que la tasa de producción de nutrientes de los peces se compense con la tasa de extracción de nutrientes de los cultivos, por lo que es común manejar niveles medianamente elevados de metabolitos disueltos en el agua de manera que los cultivos vegetales no sufran por falta de nutrientes, pero siempre cuidando que no se presenten síntomas de estrés por toxicidad en los peces.

En relación con los indicadores de calidad de agua para cultivo de tilapia, Nitzen (2005), recomienda niveles de oxígeno mayores de 3 mg/L y pH entre 9 y 6.

En la Tabla 1 se detallan valores de temperatura del agua para cultivo de tilapia variedad Rocky Mountain White.

Tabla 1

Valores especificados de temperatura para tilapia variedad Rocky Mountain White

Nivel mínimo	Nivel máximo	Referencia
26.47 °C	27.12 °C	(Pérez-Fuentes, Pérez-Rostro, Hernández-Vergara, Amaro-Espejo, & Huicab-Pech, 2016)
28.03 °C	28.47 °C	(Hernández-Barraza, Trejo-Martínez, Loredó-Osti, & Gutiérrez-Salazar, 2016)
23.6 °C	25.3 °C	(Chacón Palma, 2001)
N.R*	19.19 °C	(Lozada Farías, 2019)
27 °C	32 °C	(Cantor, 2007)
22,8 °C	29,9 °C	Rango de valores esperados

Nota: NR*: Autor no reporta un valor mínimo, solo un valor promedio. Se toma como máximo

La mortalidad desempeña un papel crucial en la producción de tilapia, influyendo en la rentabilidad y eficiencia de los cultivos. Esta variable impacta directamente la cantidad final de peces viables, lo que a su vez afecta el volumen de producción. La vigilancia constante de la mortalidad se justifica por diversos motivos fundamentales. En primer lugar, desde la perspectiva económica, las pérdidas financieras ocurren debido a la inversión de recursos y tiempo en peces que no llegan a la fase de comercialización. Además, la relación entre mortalidad y eficiencia se traduce en una menor cosecha y, por ende, en una reducción de la productividad (Martínez-Meingüer, Castro-Mejía, Vázquez-Silva, & Castro-Castellón, 2020).

Tabla 2

Valores de referencia para mortalidad de tilapia variedad Rocky Mountain White)

Mínimo	Máximo	Referencia
0%	3%	(Lin, Cui, Hung, & Shiau, 1997)
0%	8,33%	(Shiau & Peng, 1999)
25%	68%	(Martínez-Meingüer, Castro-Mejía, Vázquez-Silva, & Castro-Castellón, 2020)
N.R*	1,5%	(Chacón Palma, 2001)

N.R*	8,4%	(Pérez-Fuentes, Pérez-Rostro, Hernández-Vergara, Amaro-Espejo, & Huicab-Pech, 2016)
8,33	17,85	Rango de valores esperados

Nota: NR*: Autor no reporta un valor mínimo, solo un valor promedio. Se toma como máximo

Las principales causas de Mortalidad podrían ser (Lin, Cui, Hung, & Shiau, 1997):

- Poca resistencia a la manipulación.
- Aguas con exceso de acidez o de alcalinidad y alta concentración de amonio en el agua o bajas concentraciones de oxígeno y baja saturación
- Presencia de agentes patógenos causantes de enfermedades (*Trichodina spp*, *Edwasiella tarda*, *Flavobacterium*, tremátodos, myxosporidios, entre otros)

Niveles elevados de DBO en el agua pueden indicar la presencia de contaminantes orgánicos, que pueden provocar el agotamiento del oxígeno y tener repercusiones negativas en los ecosistemas acuático. La industria de alimentos y bebidas: la industria de alimentos y bebidas genera grandes cantidades de aguas residuales que contienen materia orgánica, como aceites, grasas y lubricantes. También la industria papelera: la industria de la celulosa y el papel genera aguas residuales que contienen altos niveles de materia orgánica, lignina y celulosa (Fabregas, 2023).

Metodología

Se realizó una instalación de tres módulos de acuaponía utilizando en cada módulo un tanque IBC de 1 m cúbico para mantener a los peces, el cual descarga el agua por gravedad a cuatro camas de cultivo, fabricados a partir de medios estañones, con sustrato de piedra volcánica roja y un sifón campana externo para generar los ciclos de carga y descarga de agua. El agua de las cuatro camas descarga a un solo tanque de recibo donde una bomba sumergible de ½ hp bombea el agua de retorno al tanque IBC. Al final de la tubería se instaló una botella de 5 L para realizar las funciones de desgasificación y oxigenación del agua de retorno.

Figura 1*Instalación de 3 módulos acuapónicos*

La calidad de agua se revisó con un oxígeno-metro de membrana y un kit colorimétrico para NH_3 , pH-metro.

Cada tanque se sembró 1 kg de biomasa de tilapia aurea de la variedad Rocky Mountain White, de aproximadamente 13,5 g, procedente de la estación acuícola Los Diamantes, en Guápiles. En este caso no se realizó un manejo enfocado al crecimiento de los peces, sino más bien en mantener la biomasa para producir los metabolitos que requieren como fertilizante los cultivos de las camas, de manera que, se estableció una ración de alimento de 15 g diarios, repartida en 3 raciones de 5 g (mañana, medio día y tarde). La recolección de mortalidad se realizó con cada alimentación.

Cada cama de cultivo se sembró con almácigo de cebollino y lechuga, registrando dos veces por semana el crecimiento en centímetros. Se revisó diariamente la presencia de plagas.

Figura 2

Camas de cultivo de cebollino y lechuga en sistema acuapónico



Una vez estabilizados los sistemas en relación con la mortalidad post-siembra de los peces, en una de las camas de cultivo se incorporó fibra de caña india fresca picada, para verificar el efecto sobre el cultivo de cebollino y lechuga.

Figura 3

Tilapia en tanques de cultivo acuapónico



Resultados y discusión

Parámetros fisicoquímicos del agua

Durante el ensayo se monitoreo semanalmente la calidad del agua, reportándose las siguientes condiciones:

- Temperatura $21,33\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1,04$
- pH $7,00 \pm 0,10$
- Conductividad (mS) $0,14 \pm 0,04$
- Oxígeno 6,6 y 7,04 mg/L y saturación de $77,50\% \pm 6,21\%$

Estas condiciones se mantuvieron relativamente estables hasta que se incorporó la fibra picada de caña india fresca en una de las camas de cultivo, lo que alteró los parámetros y se describe más adelante. Lo anterior indica que la temperatura fue el parámetro que se mantuvo por debajo del mínimo referenciado de $22,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ estimado a partir de los valores reportados por (Pérez-Fuentes, Pérez-Rostro, Hernández-Vergara, Amaro-Espejo, & Huicab-Pech, 2016), (Hernández-Barraza, Trejo-Martínez, Loredó-Osti, & & Gutiérrez-Salazar, 2016), (Chacón Palma, 2001), (Lozada Farías, 2019) y (Cantor, 2007) en la tabla 1, lo que orienta pensar que este fue uno de los factores estresantes para los peces.

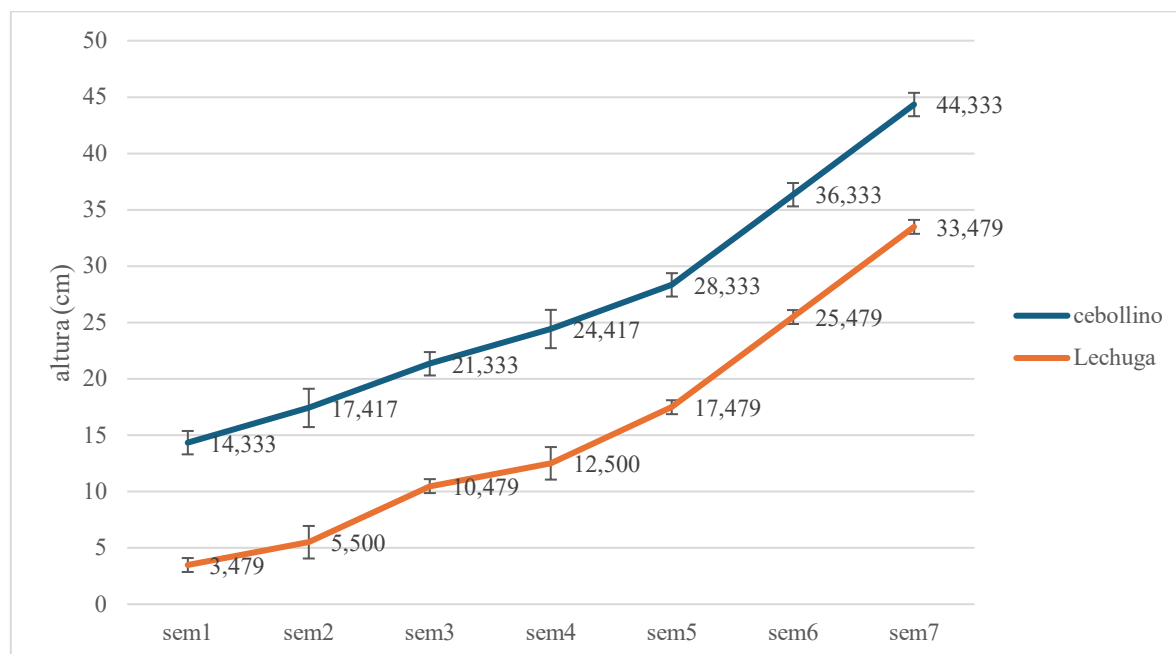
Cultivo de lechuga y cebollino

A finales del mes de septiembre, una vez establecido el sistema se procedió a sembrar almácigos de cebollino y lechuga, excedentes del curso de cultivos hortícolas. Se realizó una comparación visual semana a semana con el desarrollo de los cultivos en tierra donde se logró apreciar un mejor desarrollo en los cultivos del sistema acuapónico.

Como se observa en el gráfico de la figura 1, el crecimiento de la lechuga y el cebollino se mantuvo en constante en unos $4,8\text{ cm/semana}$ aproximadamente, alcanzando alturas similares a las reportadas por (Bernal et al., 2011) y (Alfaro, 2023) para Cebollino y (Carranza et al., 2009) para lechuga.

Figura 4

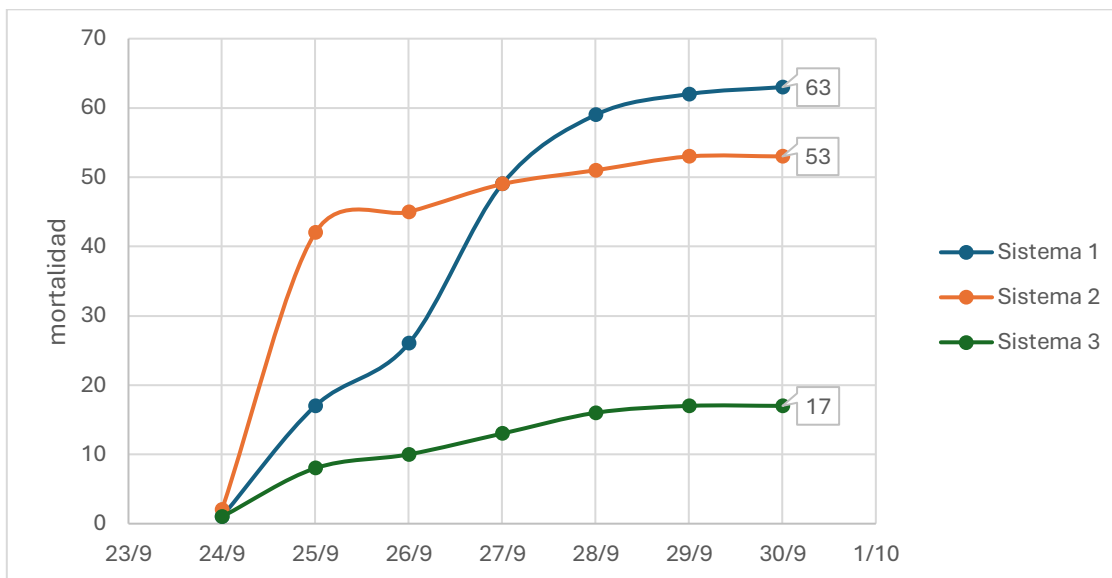
Crecimiento en del cultivo de lechuga y cebollino en sistema acuapónico



Durante las semanas 2 y 4 se registró la presencia de gusanos y caracoles, los cuales fueron retirados manualmente.

Cultivo de tilapia

Como se observa en la figura 2, se presentó una mortalidad post-siembra asociada a infección de *Saprolegnia sp.* en las lesiones por el traslado, que se trató con baños diarios de peróxido de hidrogeno, estabilizando la mortalidad en una semana, resultando en un promedio de 59% de mortalidad en los 3 módulos.

Figura 5*Mortalidad absoluta en sistema acuapónico*

Posterior a la incorporación de fibra picada de caña india fresca en una de las camas de cultivo en el primer módulo, se presentó un olor a fermentación del agua, con una caída de oxígeno a 2,3 ppm y una reducción del pH a 6,25, asociados a la fermentación de los fluidos de la savia, lo que posteriormente desencadenó mortalidad de peces por contaminación del agua como se presenta en la figura 6. Durante este periodo el cultivo de cebollino y lechuga no presentaron evidencias de afectación. Adicionalmente se implementaron renovaciones de un 25% del volumen del agua, para tratar de reducir la afectación en los peces, pero no se logró reducir la tendencia de la mortalidad.

Figura 6

Mortalidad asociada al uso de fibra fresca picada de caña india en camas de cultivo acuapónico del módulo 1



Se debe reportar que durante el ensayo se reportaron varios incidentes de intento de sustracción de las bombas y tuberías del sistema, lo que se puede interpretar como sabotaje, lo cual fue debidamente reportado a la unidad de Seguridad y Vigilancia de acuerdo con los oficios AN-396-2023 y AN-02-2024

Conclusiones

El cultivo acuapónico de cebollino y lechuga es similar al reportado por los autores referenciados, de manera que se pueden considerar para cultivos comerciales en este tipo de sistemas.

La utilización de fibra picada de caña india fresca en las camas de cultivo ocasionó procesos fermentativos que consumieron el oxígeno y aumentaron la acidez del agua de cultivo provocando la mortalidad de los peces.

La utilización de fibra picada de caña india fresca en las camas de cultivo no afectó el crecimiento del cebollino y la lechuga.

Recomendaciones

No se recomienda la utilización de fibra de caña india fresca en las camas de cultivo debido a que afecta negativamente la calidad del agua del sistema acuapónico.

Se recomienda construir una cerca alrededor del sistema de cultivo a acuapónico, para garantizar la integridad de los equipos relacionados a los ensayos.

Para futuros de ensayos se recomienda utilizar sistemas de aireación y ampliar el número de camas de cultivo.

Referencias

Alfaro, N. (2023). *PRODUCCIÓN DE CEBOLLÍN (Allium schoenoprasum L) BAJO DIFERENTES NIVELES DE ESTIÉRCOL DE OVINO Y DISTANCIAS DE PLANTACIÓN EN EL CENTRO EXPERIMENTAL COTA COTA*. Universidad Mayor de San Andrés.

Bernal, D., Morales, L., Fischer, G., Cuervo, J., & Magnitskiy, S. (2011). Caracterización de las deficiencias de macronutrientes en plantas de cebollín (*Allium schoenoprasum* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 2(2), 192–204. <https://doi.org/https://doi.org/10.17584/rcch.2008v2i2.1187>

Cantor, F. (2007). *Manual de producción de tilapia*. Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla, México. Obtenido de Recuperado de: http://api.ning.com/files/-wPbKS8JJ3E-qmSlsn6v3jY49mrh7myYykUI0Lwg1ZHHf5ncyqNc1MjRaH0YlPTH47aWwgm7-YIxzYeCIKX*IVb8f1CLFXUp/ManualdecultivodeTilapia.pdf

Carranza, C., Lanchero, O., Miranda, D., & Chaves, B. (2009). Análisis del crecimiento de lechiga (*Lactuca sativa* L.) Batavia cultivada en un suelo salino de la sabana de Bogotá. *Agronomía Colombiana*, 27, 48.

Chacón Palma, E. (2001). *Comparación del crecimiento de tres especies de tilapia (Oreochromis niloticus, variedad stirling ; Oreochromis aureus y Rocky Mountain White, cultivadas con dos étodos de alimentaión en un sistema de flujo continuo*. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Costa Rica, Escuela de ciencias exactas y naturales.

- Fabregas, J. (19 de junio de 2023). *Sigmadaf*. Recuperado el abril de 2024, de <https://sigmadafclarifiers.com/reduccion-de-la-demanda-biologica-de-oxigeno-dbo-en-las-aguas-residuales/>
- Lin, J. H., Cui, Y., Hung, S., & Shiau, S. Y. (1997). Effect of feeding strategy and carbohydrate source on carbohydrate utilization by white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) and hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* X *O. aureus*). . *Aquaculture*, 2-3(148), 201-211. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0044848696014202>
- Martínez-Meingüer, A. M., Castro-Mejía, G., Vázquez-Silva, G., & Castro-Castellón, A. (2020). Preliminary study of the growth of *Oreochromis niloticus* var. Rocky Mountain and *Lycopersicon esculentum* L. cultured in aquaponic/Biofloc system. . *Int J Fish Aquat Studies*, 8, 609-622. Obtenido de <https://www.fisheriesjournal.com/archives/2020/vol8issue3/PartH/8-3-50-987.pdf>
- Nitzen, S. (2005). Dra. (F. V. Pineda, Entrevistador) Cañas, Guanacaste, Costa Rica. Recuperado el 2005
- Paz, E. (2004). *Evaluation of growth, production and cold tolerance of four strains of four varieties of tilapia*. Louisiana: Louisiana State University. Obtenido de https://repository.lsu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1781&context=gradschool_theses
- Salazar-Murillo, L., Chacón-Villalobos, A., & Herrera-Muñoz, J. (2023). Crecimiento, eficiencia y composición de tilapia (*Oreochromis aureus*) alimentada con lombriz roja (*Eisenia fetida*). *Nutrición Animal Tropical*, 1(17), 1-35. Obtenido de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/nutrianimal/article/view/54085/54748>

Artículo 8: Biosecado de residuos de fibras de abacá (*Musa textiles*) con pellets.

Biodrying of abaca fibers residues (*Musa textiles*) with pellets

Cristopher Valverde-Delgado, María Fernanda Jiménez-Morales, Laura Brenes-Peralta, Rooel Campos-Rodriguez

Resumen

Con intención de un mejor aprovechamiento de los residuos de la fibra de abacá y conocimiento científico sobre el manejo de estos, se evaluaron tres tratamientos de biosecado para la generación de un subproducto más estable y manejable para su posterior valorización. Para esto se seleccionaron técnicas de acuerdo con criterio experto y se valoraron variables como el pH, porcentaje de humedad y temperatura, esto con el fin de determinar cual tratamiento es más eficiente en la valorización del residuo.

Se utilizó un diseño experimental factorial, se compararon los tres tratamientos denominados Tratamiento 1 (T1), Tratamiento (T2) que poseían residuos de fibras de abacá con 15% y 30% de pellets correspondientemente, además de un tratamiento control (C) solamente con residuos de fibra de abacá, cada uno en cajas de plástico con orificios. Cada tratamiento y control contó con 5 repeticiones. El valor de p utilizado fue de 0,05.

Se determinó que en el caso del pH no existieron diferencias significativas entre los datos de los T1 T2 y el tratamiento control, mientras que para la temperatura sí se encontró una diferencia significativa entre los T1 T2 y el tratamiento control. Por el otro lado en cuanto a la humedad, no se determinó una diferencia significativa entre los datos de los tratamientos y el control, aunque sí una tendencia a que los datos del control presentaban una humedad mayor. Se puede considerar como un factor limitante el uso de instrumentos adecuados según la naturaleza de la muestra.

Palabras clave: Biosecado; residuos biodegradables; valorización de residuos; pellets.

Abstract

With the intention of making better use of abaca fiber residues and scientific knowledge about their management, three biodrying treatments were evaluated for the generation of a more stable and manageable by-product for subsequent valorization. For this, techniques were selected according to expert criteria and variables such as pH, humidity percentage and temperature were assessed, in order to determine which treatment is more efficient in the recovery of the waste. A factorial experimental design was used, comparing the three treatments called Treatment 1 (T1), Treatment (T2) that had residues of abaca fibers with 15% and 30% of pellets correspondingly, in addition to a control treatment (C) only with residues of abaca fiber, each in plastic boxes with holes. Each treatment and control had 5 repetitions. The p-value used was 0.05.

It was determined that in the case of pH there were no significant differences between the T1 T2 data and the control treatment, while for the temperature there was a significant difference between the T1 T2 and the control treatment. On the other hand, in terms of humidity, there was no significant difference between the data from the treatments and the control, although there was a tendency for the data from the control to present a higher humidity. The use of appropriate instruments according to the nature of the sample can be considered as a limiting factor.

Keywords: Biodrying; biodegradable waste; waste valorization; Pellets.

Introducción

El abacá (*Musa textilis*) es una musácea, familia del plátano y banano, originaria de Filipinas. Cuenta con un contenido de lignina –componente de la pared celular que determina la dureza que está por encima del 15%. Esto le da una resistencia mecánica y salinidad excepcional, lo que la convierte en la fibra natural más resistente y durable del mundo. Son tantas las bondades del abacá que cada día se desarrollan y perfeccionan sus aplicaciones, entre las que destacan la fabricación de bolsas de té, etiquetas y papel, así como diversos usos en las industrias textil y automotriz (Programa Biodiversidad y Negocios , 2020).

Las condiciones ambientales favorables (clima, suelo, altitud) así como estabilidad social y política han motivado a empresas extranjeras a desarrollar un plan de consolidación y expansión muy ambicioso en Costa Rica. La producción de abacá en el país se encuentra localizada principalmente en la Provincia de Limón, Heredia y Puntarenas, en donde más de 140 hombres y mujeres trabajan el abacá en más de 300 hectáreas. Estos pequeños productores representan a familias, en muchos casos de comunidades indígenas como Bajo Chirripó, con plantaciones relativamente pequeñas, viendo en el abacá una posibilidad para diversificar sus ingresos, pero requieren de apoyo técnico y logístico para sobrellevar la actividad. Por estas razones es que el abacá en Costa Rica puede considerarse como una actividad de pequeña escala y familiar (Programa Biodiversidad y Negocios , 2020).

De acuerdo con el Programa Biodiversidad y Negocios (2020) por medio de un ambicioso plan de expansión se busca balancear estos números para aumentar la producción en Costa Rica en un 20% en la próxima década. Esto implica reclutar más productores, pero sobre todo aumentar la productividad en cada hectárea plantada por medio de mejores prácticas agrícolas. Esta fibra es altamente demandada en el mercado internacional por sus cualidades

y versatilidad, se dice que el proceso de extracción se generan residuos que suponen más del 90% de la materia prima inicial (Osorio, 2021).

En búsqueda de un máximo aprovechamiento de los residuos de esta fibra, se recurre a la valorización de residuos se refiere a la conversión de la biomasa residual mediante tratamientos químicos, térmicos, biológicos o electroquímicos en alimentos, bioenergía y productos químicos valiosos (Osorio, 2021). La valorización de los residuos marca una fuerte tendencia hacia la búsqueda de un desarrollo sostenible enmarcando la bioeconomía y su relación la reutilización de la biomasa residual.

En esta investigación se implementó el biosecado como tratamiento de los residuos de la fibra de abacá, este consiste en eliminar parte de la humedad y estabilizar la materia orgánica biodegradable para reducir el peso y el volumen, de forma que se obtenga un producto que pueda ser utilizado como combustible o simplemente para abaratar los costos de transporte. Para ello, la acción combinada del calor generado en la fermentación aerobia de la materia biodegradable y un adecuado flujo de aireación, facilitarán que el contenido de humedad baje y por lo tanto se reduce el peso y el volumen. Por consiguiente, el producto ya biosecado podrá valorizarse tanto energéticamente, como ser llevado a un vertedero, con una menor carga ambiental. Esto es debido a que se trataría de un residuo estabilizado sin apenas generación de lixiviado y con menor cantidad de humedad y peso (Colomer et al., 2012).

De acuerdo con Colomer et al (2012) una serie de variables que se deben de considerar cuando se realiza un tratamiento de biosecado son: el tipo de muestra ya que determinará las condiciones que se produzcan en el biosecado; el tiempo de permanencia que vendrá establecido por la progresiva caída de temperatura del interior del residuo y por la disminución de la humedad de la muestra; los microorganismos responsables del biosecado, que se nutrirán de los componentes más digeribles generando calor; la temperatura que un parámetro clave en el biosecado debido a que la actividad microbiana hace que la temperatura aumente. Una parte del calor generado biológicamente servirá para favorecer el crecimiento y la conservación de los microorganismos presentes, mientras que el resto sirve para mejorar la evaporación del agua en la matriz porosa; la humedad en el sustrato propiciará la proliferación de bacterias que degradan la muestra; la aireación es necesaria para proporcionar oxígeno a las bacterias aerobias, eliminar el agua de la matriz y arrastrar la

humedad ambiental hacia el exterior; ya la adición de material texturizante (MT) que en algunos estudios la presencia de material de granulometría mayor que el residuo biosecado ha influido positivamente en el secado, ya que se favorece la aireación en el interior de la pila.

En un estudio de residuos hortícolas realizado por Robles et al (2013), después de 28 días, se produjo una reducción de la masa de aproximadamente el 80 %, el volumen disminuyó aproximadamente un 50 %, la humedad por debajo del 90 % en comparación con los valores iniciales; de igual manera Colomer et al (2012), mencionan que en residuos de jardinería y cosecha lograron tiempos de secado de 12 a 30 días (dependiendo del mes), junto con reducciones de volumen superiores al 50 % con porcentajes de humedad entre 7-15%.

En esta investigación se encierra como objetivo principal evaluar de manera experimental diferentes tratamientos en el biosecado de la fibra de abacá con el fin de determinar diferencias significativas entre estos de acuerdo con los parámetros medidos y brindar una alternativa como tratamiento previo para su posterior valorización y uso en diferentes actividades.

Esto debido a la falta de conocimiento científico tecnológico sobre la fibra que se genera en Costa Rica por ser una producción a pequeña escala, además, se han encontrado varios estudios que muestran diferencias en la fibra según las condiciones ambientales, edafológicas de la región en la que se cultivan las plantas. Sin dejar de lado que, no se conocen usos alternativos a la fibra para un mayor valor agregado en el país ni el manejo adecuado de los residuos generados.

Metodología

La investigación se realizó en el laboratorio de Prácticas Pecuarias de las instalaciones del Campo de Prácticas Docentes e Investigaciones Agropecuarias de la Escuela de Agronegocios del Instituto Tecnológico de Costa Rica en la Sede Central, iniciando el 27 de marzo del 2023 hasta el 10 de mayo del 2023.

Se utilizó un diseño experimental factorial, en donde se comparó dos tratamientos con un control, denominados Tratamiento 1 (T1), Tratamiento 2 (T2), y Control (C), para cada caso se realizaron 5 repeticiones. Tanto para el T1, T2 y C se agregaron 2,75kg de residuos de

abacá, en el caso del T1 se le agregó 15% de pellets del peso total, para el T2 se le agregó 30% de pellets y para el control no se le agregó pellets.

Se utilizaron 15 cajas de plástico con orificios que permitían la aireación del material, como método de identificación cada tratamiento poseía un color, es decir, las cajas eran de 3 colores diferentes, además, estaban debidamente rotuladas. Estas cajas se colocaron con un pequeño desnivel con el fin de recoger el lixiviado de cada una de las cajas en unos pequeños envases, además fueron ubicadas al azar en un aula que permitía el ingreso de ventilación y luz solar.

Los parámetros que se midieron durante 40 días tanto a los tratamientos como al control fueron el pH, la temperatura y el porcentaje de humedad. Para la toma del pH se tomaron 2 mediciones por día, una en la mañana y otra en la tarde, utilizando un pHmetro portátil, las mediciones se realizaron en el centro de las muestras tomando una sola medición por repetición. En el caso de la temperatura, de igual manera se realizó dos mediciones por día, y se utilizó un termómetro infrarrojo, tomando la temperatura en el centro de las muestras una vez por cada repetición de los tratamientos. Por el otro lado, en el caso del porcentaje de humedad se realizó 3 mediciones, una al inicio de las pruebas, una en medio de las pruebas y otra al final de las pruebas, este porcentaje se determinó por medio del método de estufa. Con el fin de facilitar la aireación de los residuos en los diferentes tratamientos, estos se revolvián manualmente una vez al día.

En cuanto al análisis de datos, se utilizó un ANOVA de comparación con el fin de identificar diferencias significativas entre los tratamientos y los parámetros medidos, se realizó una verificación del ANOVA y no cumplió con los supuestos, por lo que se realizó pruebas de transformación (Cox-Box, Johnson) y en el caso de que estas no se logren transformar a una distribución normal se aplicaron pruebas no paramétricas (Kruskal-Wallis y Mediana de Mood).

Resultados y Discusión

pH

Con respecto al pH se puede observar cómo entre los días 10-30 se presentan pH mayores a los iniciales, esto debido a que el pH aumentará debido a la degradación de compuestos de naturaleza ácida y a la mineralización de compuestos nitrogenados hasta la forma de

amoníaco, actuando también el proceso de amonificación como un importante sumidero de protones y, por tanto, favoreciendo al aumento del pH (Tortosa, 2013).

Cabe destacar que durante las mediciones realizadas posteriormente al día 30 se empezaron a presentar problemas con la calibración del pHmetro portátil, por ende, se podría considerar un error instrumental en la toma de las mediciones lo cual ocasionó una discontinuidad de los datos presentados.

Tabla 2

Mediciones del pH de los tratamientos propuestos

Día	Control	DE	Tratamiento 1	DE	Tratamiento 2	DE
1	9,92	0,40	9,85	0,35	9,91	0,27
5	10,63	0,92	10,42	0,63	11,17	0,76
10	11,05	0,29	10,96	0,82	11,08	0,54
20	11,73	0,54	11,87	0,32	11,68	0,30
30	11,32	0,09	11,35	0,13	11,23	0,25
35	9,60	0,33	9,96	0,38	9,86	0,15
40	10,50	0,20	10,39	0,21	10,48	0,19

Se realizó un ANOVA en el cual se identificó mediante un valor de $p = 0,672$ lo cual indica que no existen diferencias significativas de entre los datos de los 3 tratamientos correspondientes a las mediciones de pH.

Al realizar la validación del ANOVA, se identifica que los residuos de los datos no siguen una distribución normal, por lo que se procedió a aplicar una Transformación Box-Cox con un valor redondo de lambda de 4,0. Esto implica que los datos son altamente asimétricos y que necesitan una transformación significativa para cumplir con los supuestos de las pruebas estadísticas paramétricas. Al realizar esta transformación los datos no son normales.

Se procedió a la aplicación de pruebas no paramétricas, iniciando con prueba de Kruskal-Wallis, resultando que, con un valor de p no ajustado, ajustado, y para empates, no hay diferencias significativas entre los grupos.

Además, como respaldo también se aplicó la prueba mediana de Mood, indicando que, las diferencias entre las medianas de los datos de pH no son estadísticamente significativas.

Temperatura

En el caso de la temperatura, no se observa un comportamiento de aumento de la temperatura en los datos, lo cual no coincide con lo que menciona Orozco et al (2018) de que en un tratamiento de biosecado la temperatura debe de aumentar debido a la carga microbiana que se presenta y la liberación del calor que permite la pérdida de humedad de los residuos, además se considera que estas temperaturas son dependientes tanto del calor microbiano como de la temperatura dentro del recinto y que la etapa del biosecado termina cuando se acaba la actividad microbiana; a partir de ese momento, la temperatura desciende drásticamente porque ya no hay aporte de calor microbiano.

Es importante comprender que es necesario utilizar instrumentos que sean mas acertados con respecto a la naturaleza de la muestra a medir, se puede considerar como un limitante el uso del termómetro infrarrojo, debido a la indisponibilidad de un termómetro de espiga que se puede poner en contacto directamente con los residuos y principalmente en el centro estos que es donde más se evidencia la actividad microbiana en cuanto a temperaturas a diferencia de sus capas externas.

Tabla 3

Mediciones de la temperatura (°C) de los tratamientos propuestos

Día	Control	DE	Tratamiento 1	DE	Tratamiento 2	DE
1	23,36	1,05	23,20	0,57	22,94	0,21
5	22,50	0,59	22,26	1,07	21,68	0,64
10	21,98	0,52	22,90	1,31	24,90	1,02
20	21,06	0,68	21,10	0,35	20,98	0,44
30	22,72	0,47	22,82	0,20	23,04	0,33
35	24,06	0,80	23,82	0,56	22,96	0,67
40	22,30	0,40	23,06	0,26	21,70	0,35

Se realizó un ANOVA en el cual se identificó mediante un valor de $p = 0,001$ lo que indica que al menos una de las medias de la población es diferente. Por tanto, mediante la prueba de Tukey podemos determinar que existen diferencias significativas entre los datos de los T1 T2 y el tratamiento control (C) tratamientos correspondientes a las mediciones de Temperatura.

Al realizar la validación del ANOVA, se identifica que los residuos de los datos no siguen una distribución normal ($p=0.005$), por lo que se procede aplicar una Transformación Box-Cox con un valor redondo de lambda de -3, este valor indica una transformación extremadamente fuerte, lo que podría implicar que los datos tienen una distribución muy sesgada que requiere una corrección significativa para ajustarse a una distribución más normal. Cabe destacar que una transformación tan fuerte puede distorsionar la interpretación de los datos.

Ante esta situación, se realizó un análisis de transformación Johnson resultando que es adecuada para mejorar la distribución de los datos de las variables, al realizar esta transformación se obtiene que los datos no son normales. Por lo que se procedió a utilizar las pruebas no paramétricas.

El valor de p obtenido de la prueba de Kruskal-Wallis de 0.003 indicando que al menos uno de los grupos tiene una mediana significativamente diferente de los otros.

Para interpretar cómo difieren los grupos específicos (T1, T2 y C), existen diferencias significativas entre los datos de los T1 T2 y el tratamiento control (C) tratamientos correspondientes a las mediciones de Temperatura, resultado concordante con la prueba de Tukey.

Además, como respaldo también se aplicó la prueba mediana de Mood y se obtuvo un valor p de 0.010, entonces, de igual manera al menos uno de los grupos tiene una mediana significativamente diferente de los otros. Resultado concordante con la prueba de Tukey.

Porcentaje de Humedad

Con respecto a las mediciones de humedad de los tratamientos, se puede observar una clara diferencia en la pérdida de agua en los residuos de abacá, debido a que en el proceso de biosecado, la humedad se reduce como consecuencia del efecto combinado del calor que se desprende como producto de la actividad microbiana y al arrastre del vapor de agua como consecuencia de la aireación. Si la aireación es muy alta se arrastrará mayor cantidad de agua, pero se corre el riesgo de que el material se enfríe y se reduzca la actividad microbiana, caso contrario si la aireación es muy baja, puede ser insuficiente para estimular el metabolismo de los microorganismos termófilos reduciendo la producción de calor (Mendez et al., 2016).

Además, se puede observar que los tratamientos con pellets obtuvieron porcentajes un poco más bajos en comparación al control, pero en el control en el día 40 se obtiene una desviación estándar considerable que pudo ser ocasionada por la no uniformidad de los residuos y la naturaleza de esta. Se puede considerar una pérdida de humedad de aproximadamente el 70% con respecto al valor inicial en los T1 y T2.

Durante todo el proceso de biosecado no se obtuvo lixiviado por parte de las muestras en los diferentes tratamientos y repeticiones.

Tabla 4

Mediciones del porcentaje de humedad de los tratamientos propuestos

Día	Control	DE	Tratamiento 1	DE	Tratamiento 2	DE
1	92,98	0,52	93,39	0,62	92,53	0,65
20	91,66	1,99	88,96	2,30	87,42	1,72
40	36,07	16,75	16,32	2,56	21,34	3,62

Se realizó un ANOVA en el cual se identificó mediante un valor de $p = 0,804$ lo que indica que ninguna de las medias de la población es diferente significativamente. Esto se comprueba con una prueba de Tukey que nos indica que ninguna de las de las medias de los grupos es diferente.

Al momento de realizar la validación de la prueba ANOVA, se identifica que los datos no siguen una distribución normal, y la prueba de igualdad de varianzas arroja un valor de p de 0,833, lo que indica que el grupo cuenta con varianzas iguales.

Ante la situación de la no normalidad de los datos se realiza una transformación de los datos mediante una Transformación Box-Cox con un valor redondo de lambda de 2,53, sugiere que la transformación no es exactamente logarítmica ($\lambda = 0$) ni cuadrática ($\lambda = 0.5$). Podría ser una transformación algo más compleja, por lo que los valores pueden ser algo inusuales.

De manera adicional se utilizó una transformación de Johnson y como resultado al no seguir todos los grupos una distribución normal no se puede pasar la prueba de validación del ANOVA.

Se aplicó una prueba de Kruskal-Wallis y sugiere que las muestras del tratamiento control tienen valores más altos en promedio en comparación con los otros tratamientos.

Por lo que se puede concluir que el tratamiento control tiene una tendencia a tener valores más altos en promedio, mientras que los tratamientos 1 y 2 tienden a tener valores más bajos en promedio. Sin embargo, el valor p de 0,388 de la prueba general nos indica al igual que el ANOVA que no existen diferencias significativas entre las medianas de los grupos.

Además, como respaldo también se aplicó la prueba mediana de Mood, y los resultados indican que las medianas de las poblaciones son todas iguales.

Conclusiones

Los diferentes tratamientos planteados para tratar los residuos de las fibras de abacá cumplieron de una manera general, ya que, se presentó una reducción en el porcentaje de humedad. No se puede determinar cuál fue el mejor tratamiento ya que estadísticamente no se encontraron diferencias significativas entre estos, aunque sí se presentaron algunas oportunidades de mejora a nivel técnico con el fin de obtener un mejor control de las variables analizadas y así determinar un tratamiento acertado que permita la valorización adecuada de estos residuos e impacte positivamente en el ambiente y la bioeconomía.

Respecto a las variables analizadas, en el caso del pH se observó un aumento conforme pasan los días, pero debido a un error instrumental los datos en los últimos días pudieron verse afectados, de una manera general sí se cumplió con comportamiento esperado. Por el otro lado, en cuanto a la temperatura no se observó un incremento significativo en los tratamientos como se esperaba, y en cuanto al porcentaje de humedad se determinó una reducción de aproximadamente el 70% en los tratamientos en comparación con el valor de humedad inicial.

Todas las pruebas aplicadas, tanto paramétricas como no paramétricas, sugieren consistentemente que no hay diferencias significativas entre los tratamientos en cuanto a las mediciones de pH. Por lo tanto, se concluye que los tratamientos no tienen un efecto significativo en el pH, al menos con el conjunto de datos y las pruebas realizadas.

Todas las pruebas aplicadas, tanto paramétricas como no paramétricas, sugieren consistentemente que existen diferencias significativas entre los tratamientos, en cuanto a las

mediciones de temperatura. Por lo tanto, se concluye que los tratamientos si tienen un efecto significativo en la temperatura, con respecto al control, al menos con el conjunto de datos y las pruebas realizadas.

Todas las pruebas aplicadas, tanto paramétricas como no paramétricas, sugieren consistentemente que no existen diferencias significativas entre los tratamientos, en cuanto a las mediciones de humedad. Por lo tanto, se concluye que los tratamientos no tienen un efecto significativo en la humedad, con respecto al control, al menos con el conjunto de datos y las pruebas realizadas.

Bibliografía

- Colomer, F., Herrera, L., Robles, F., Gallardo, A., & Carlos, M. (2012). *Secado de residuos de jardinería en reactores mediante procesos biológicos*. Obtenido de scielo.org.mx: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992012000500009
- Colomer, F., Robles, F., Herrera, L., Gallardo, A., & Bovea, M. (Diciembre de 2012). *Biosecaado como proceso biológico para disminuir la humedad en los residuos de jardinería y cosecha*. doi:10.1007/s10668-012-9369-1
- Mendez, C., Solano, M., Torres, I., & Pérez, A. (Noviembre de 2016). *Diseño, construcción y operación de un equipo piloto de biosecaado para residuos agroindustriales*. Obtenido de 1library.co: <https://1library.co/article/dise%C3%B1o-construcci%C3%B3n-operaci%C3%B3n-equipo-piloto-biosecaado-residuos-agroindustriales.yj7405wm>
- Orozco, C., Díaz, J., Macías, M., & Robles, F. (2018). *Efecto de la frecuencia de volteo en el biosecaado de residuos sólidos orgánicos*. Obtenido de revistascca.unam.mx: <https://www.revistascca.unam.mx/rca/index.php/rca/article/view/RICA.2019.35.04.16/46913>
- Osorio, M. (Abril de 2021). *Varolización del residuo sólido del proceso de desfibrado de Abacá cd la variedad Tangongon*. Obtenido de repositorio.ute.edu.ec: http://192.188.51.77/bitstream/123456789/22583/1/10233_1.Marcos%20Osorio.pdf

- Programa Biodiversidad y Negocios . (2020). *Iniciativa de Abacá sostenible: Produciendo fibra sostenible desde el sureste de asiático hasta centroamérica*. Obtenido de bpmesoamerica.org: <https://www.bpmesoamerica.org/wp-content/uploads/2020/01/Glatfelter.pdf>
- Robles, F., Gerardo, O., Piña, A., Montiel, L., Colomer, F., & Orozco, C. (2013). *Obtención de un combustible alternativo a partir del biosecado hortícola residual*. Obtenido de scopus.com: <https://www-scopus-com.ezproxy.itcr.ac.cr/record/display.uri?eid=2-s2.0-84891533099&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=c4d63e44c9018dc8db8e548a318f33bf&sot=b&sdt=b&s=TITLE-ABS-KEY%28biosecado%29&sl=24&sessionSearchId=c4d63e44c9018dc8db8e548a318f33bf&>
- Tortosa, G. (noviembre de 2013). *El pH durante el compostaje*. Obtenido de compostandociencia.com: <https://www.compostandociencia.com/2013/11/ph-en-el-compostaje-html/#:~:text=El%20pH%20es%20un%20par%C3%A1metro%20que%20puede%20condicionar,a%20las%20poblaciones%20microbiana%20presentes%20en%20cada%20momento.>

Artículo 9: Circular economy applicable to waste from the sustainable production of *Musa textilis* in Costa Rica.

Kevin Arias-Ceciliano¹ [0000-0001-6720-4356], Rooel Campos Rodríguez²[0000-0003-4460-2313] Dagoberto Arias-Aguilar³[0000-0002-3056-9172], Laura Brenes Peralta⁴[0000-0002-5169-9961], María Fernanda Jiménez Morales⁵ [0000-0002-9775-2545], Manuel Masís Jiménez⁶ [0000-0002-0285-9973] and Jesus Mora-Molina⁷[0000-0002-2309-1940]

¹ Master's Student, ^{1,3} Forestry Engineering School, ^{2,4,5,6} Agribusiness School, ⁷ Chemistry School, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.

lncs@springer.com

Presentado en: X Congreso Internacional de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Sociedad (CITIS 2024). Springer Scopus Q4.

Abstract

The *Musa textilis* crop is known worldwide as Abaca or Manila hemp, and for many decades the pseudostem fibers have been used as export raw material for the manufacture of cellulose-based products. It is one of the most resistant natural fibers to salinity and has excellent mechanical properties, flexibility, and durability. In the Americas, the two leading countries in the production of Abaca fiber are Ecuador and Costa Rica. There is a good base of information on the agronomic aspects of the crop, the use of improved materials, fiber production techniques and quality characterization. However, there is a lack of information on the estimation of the production of residues and the alternatives for their valorization. The understanding of biomass production, characteristics and types of waste can awaken the interest of producers and companies to generate new products within the concept of waste utilization and circular economy. This work provides guidance on the estimation of waste and presents a proposal of alternatives for the use of fibers to add value. This research is also useful to motivate the producers of banana in the search for alternative uses of the large volumes of waste generated in the productive activity.

Keywords: *Musa textilis*, fiber, biomaterial, bioeconomy

Introduction

Musa textilis is a monocotyledonous species belonging to the Musaceae family and endemic to the Philippines [1]. It is known worldwide as Abaca or “Manila hemp” and is an herbaceous plant with a growth architecture like banana and plantain plants; although unlike

these, its commercial utility is not directed towards food, and although it produces small fruits, its commercial raw material comes from the pseudostem fibers, which are extracted using very rustic techniques or with mechanical assistance.

This fiber is considered a potential substitute for wood in the manufacture of paper pulp because it is characterized by excellent mechanical (tension-bending) and chemical properties (63% of cellulose, 21% of hemicellulose, 14% of lignin, and 2% of impurities) [2]. Currently much of the processed material is focused on the manufacture of high-quality paper and specialized use such as tea bags and filters of different types [3,4].

Abaca has a production cycle that depends on soil and climate conditions and the fiber can reach maturity between 12 and 18 months [5].

To obtain quality fiber, it is necessary to harvest the mature pseudostems and separate the shells to decorticate the fiber, using portable machines called “deco”, which comes from the word “decorticate”. There are currently more than 50 machines in the country and their number will increase soon; however, recently at the end of 2023 the “Spindle” machine was introduced in the country, which improves the quality of the decortication and requires a different preparation of the shells containing the fibers.

Crop management and fiber extraction generate various sources of waste, ranging from leaves and thinning of the pseudostems to waste from the use of the “deco” machines. A residue like bagasse is generated, composed of pieces of fiber and plant tissue residues. There are also sheets left over from the separation of the layers of the pseudostem. Semi-processed fiber residues are also generated. The use of the “Spindle” machine generates similar waste; however, the largest volume of waste is generated from tuxing, which refers to a specific process of defibering the plant to separate the fibers from the xylem. During tuxing, a series of mechanical operations are performed to extract the long and resistant fibers that make up the abaca, which are then processed with the machine. According to [6] in an analysis of the potential of the solid waste remaining from Abaca processing as a substrate to produce oyster mushroom (*Pleurotus* spp), within the most relevant data provided during interviews and tours, it was found that the largest amount of waste obtained from processing of Abaca, are

generated from the pseudostem, where approximately 94% is waste. For their part [7] in a study in Ecuador, report that of the total harvested Abaca material, 96.41% is wasted in its process and only 3.59% is what is sold as fiber to the international market.

Research Problem and its Importance.

The fiber extraction process generates a considerable volume of waste that has not been quantified in Costa Rica, and its potential economic value is not known. It is estimated that for every kilo of dry fiber, between 3 and 5 kilos of dry matter waste (leaves, fibers and bagasse) are generated and the rest is water. Furthermore, taking into consideration that sustainable management of Abaca can bring social, economic, and environmental benefits, it would be contributing to reducing social inequality, creating new sustainable productive options, and generating positive impacts of climate action. Efficient management of natural resources contributes to the national bioeconomy strategy. Specifically, the Sustainable Development Goal and the impact on SDG 12: Responsible production and consumption, which seeks alternatives for responsible consumption and recovery of waste.

2. Methods

The study was carried out on a productive and representative farm of the Caribbean region of Costa Rica, specifically located at the La Chávez site in Horquetas de Sarapiquí, Heredia, Costa Rica (10°23'01.6 "N, 83°56 ' 36.1"W, 68 masl). The site has a very humid tropical forest climate (bmh-T) (Holdridge, 1978); with an average annual precipitation of 4062 mm and an average annual temperature of 25.9 °C [8]. The soil is classified within the order Ultisol and suborder Humults, [9], with a pH less than 5.5, an acidity saturation of 40% and a very slight slope (< 5%).

2.1.Acquisition waste biomass data

Destructive sampling was used from a sample of 40 pseudostems. Each pseudostem was cut at a height of 10 cm from the ground, and the leaves and pseudostem were obtained separately to obtain the weight in kilograms, both on a wet basis and on a dry basis. The pseudostem was sectioned into “layers” that were classified into external layers (second quality) and

internal layers (first quality), which were decorticated with a “deco” machine until the fibers and waste were obtained. The fibers were dried in the sun for 3 hours until reaching a humidity of around 12%. From each plant, 3 subsamples of tissues were obtained (leaves, pseudostem, fibers, residues) and the wet weight and dry weight were obtained in a laboratory oven (temperature set at 80 °C for 72 h).

2.2.Characterization of the chemical properties of abaca fiber in Costa Rica

From a collection of 5 different varieties (genotypes) of Abaca in a place close to the study area, a characterization of the chemical properties of the fibers was carried out. Samples of the fibers and waste were taken randomly to carry out laboratory analysis and tests for the use of fibers as a composite material. The material was processed in the laboratory, ground, and dried in the oven. The chemical properties were evaluated: lignin and holocellulose content according to the TAPPI T222 om-02 standard (2002); as well as, extractives in cold and hot water according to ASTM D1110-21 (2021), extractives in 1% NaOH according to ASTM D1109-21 (2021), extractables with dichloromethane according to ASTM D1108-21 (2021), extractives with ethanol-toluene according to ASTM D1107-21 (2021), ash content according to ASTM D1102-84 (2021), volatile content according to ASTM D1762-84 (2021), fixed carbon according to ASTM D3172-13e1 (2021) and the caloric value according to ASTM D5865/D5865M-19 (2019). Likewise, the content of carbon (C), hydrogen (H), nitrogen (N) and sulfur (S) was estimated with an Elementar analyzer model Vario Micro Cube (Elementar, Langenselbold, Germany).

2.3.Use of residual fiber as composite material

Boards were made from combinations of wood sawdust and Abaca waste fiber. The boards consisted of a single layer with dimensions of 350 x 350 x 12 mm and a target standard density of 0.65 g cm⁻³. The adhesive available in the country and provided by one of the industries dedicated to the manufacture of boards was used; which corresponds to the adhesive Melamine Urea Formaldehyde (MUF) with its respective catalyst (AkzoNobel 1247/2526, AkzoNobel Wood Coatings, USA), with an adhesive load of 12% based on the dry weight of the particles in a 5:1 ratio (adhesive: catalyst) according to the manufacturer's

instructions. The viscosity of said adhesive was characterized by having an average value of 17,500 MPa and a pH of 9.5 to 10.7 (all values at 25 ± 2 °C). The combinations used as treatments were the following: T1 (40M:60A), T2 (60M:40A), T3 (50M:50A), T4 (100M:0A) and T5 (0M:100A), where M is *Gmelina arborea* and A is *Musa textilis*.

2.4. Statistical analysis of the data

For the analyzes based on ANOVA, a completely randomized design was used, for which the assumptions of normality of the residuals and the homogeneity of the variances were verified with the Shapiro-Wilks and Levene tests, respectively. The ANOVA applied considered a significance level of 0.05, and determined if there were significant differences between treatments; If necessary, the comparison of means test according to Tukey was applied to identify treatment groups with different behavior. In situations in which the assumptions of the ANOVA were not met, the non-parametric Kruskal Wallis test was executed together with a comparison of medians if significant differences were found. All analyzes were run in Infostat software. 2020e [10].

3. Results

3.1. Estimates of biomass, fiber and residues

Table 1 summarizes the results obtained from the study of biomass per plant component. The wet weight of plant pseudostems ranged from 7.8 kg to 34.2 kg, while leaf tissues ranged from 0.8 kg to 4 kg. These values, when summed up, gave total wet weight values ranging from 9 kg to 37.3 kg, with a moisture content ranged from 78.50% to 86%. Likewise, pseudostem dry weight ranged from 0.94 kg to 4.10 kg, while leaf dry weight ranged from 0.21 kg to 1.04 kg. Thus, the total aboveground dry weight ranged from 1.25 kg to 4.96 kg. From a pseudostem residue perspective, approximately 75% of the dry biomass is residue. To this must be added the dry biomass of the leaves, which equals 1.87 kg. If a plantation has approximately 4000 crop stems per hectare, the residual biomass per hectare equals 1.45 tons per hectare. Under the site conditions of this study, a harvest of class 1 and 2 fiber is equivalent to 2.24 tons of anhydrous fiber and 2.50 tons of fiber at 12% moisture content.

Table 1

Summary of the descriptive statistics of the wet and dry biomass of the different components of the Abaca plant

VARIABLES	N	MEAN	SD	VC	MIN	MAX
Height (cm)	40	367,53	64,78	17,63	250	504
Diameter (cm)	40	11,75	1,79	15,26	8,40	16
Stem wet weight (kg)	40	19,33	6,73	34,81	7,80	34,20
Leaf wet weight (kg)	40	1,87	0,84	45,27	0,80	4
Total wet weight (kg)	40	21,19	7,34	34,63	9	37,30
Stem dry weight (kg)	40	2,32	0,81	34,76	0,94	4,10
Leaf dry weight (kg)	40	0,48	0,22	45,29	0,21	1,04
Total dry weight (kg)	40	2,80	0,97	34,71	1,25	4,96
Fiber wet weight (kg) 1	40	2,16	0,87	40,46	0,56	3,99
Fiber dry weight (kg) 1	40	0,42	0,19	45,75	0,01	1,05
Fiber wet weight (kg) 2	40	0,76	0,36	45,12	0,14	1,55
Fiber dry weight (kg) 2	40	0,14	0,07	50,44	0,01	0,36

Note: N is the sample size, SD is the standard deviation of the mean, VC is the coefficient of variation, MIN is the minimum value, MAX is the maximum value. 1 and 2 refers to the quality of the fiber. In Costa Rica, two fiber qualities are currently used, and they differ in the purchase price.

3.2.Characterization of the chemical properties of Abaca fiber in Costa Rica

The chemical characterization (Table 2) showed the following conditions: i. For holocellulose, only genotype MT03 showed a significantly different value (87.91%) from the other genotypes, which showed no statistical difference (average 90.67%). ii. Lignin showed variation according to genotype; MT07 and MT11 showed high values (average 14.81%), in contrast to MT01, MT03 and CF01, which were lower at 11.95%. iii. MT07 and MT11 showed the lowest values in cold water, ethanol-toluene, and dichloromethane extractives; in the case of hot water extractives, only MT07 showed significant differences. iv. extractives with sodium hydroxide showed no differences between genotypes; the average value was 1.31%. Elemental analysis showed that MT07 and MT11 indicated statistical differences in the composition of C, H, N and S; in contrast, the remaining three genotypes showed no significant differences among themselves.

Table 2

Fiber chemical properties of five genotypes of Musa textilis.

VARIABLE	VARIETY				
	MT01	MT03	MT07	MT11	CF01
Holocellulose (%)	89,62 ^A (0,95)	87,91 ^B (0,46)	89,38 ^A (0,98)	93,06 ^A (0,37)	90,65 ^A (0,56)
Lignin (%)	14,43 ^A (0,28)	15,46 ^A (0,23)	13,49 ^B (0,39)	12,13 ^B (0,26)	12,66 ^B (0,10)

Extractives	Hot water (%)	11,01 ^A	10,17 ^A	7,75 ^B	10,88 ^A	3,90 ^C
		(0,18)	(0,41)	(0,24)	(0,15)	(0,20)
	Cold water (%)	11,27 ^A	10,35 ^A	6,76 ^B	7,33 ^B	3,67 ^C
		(0,24)	(0,22)	(0,20)	(0,31)	(0,16)
	Ethanol toluene (%)	11,07 ^A	10,43 ^A	5,93 ^B	7,19 ^B	2,14 ^C
		(0,11)	(0,23)	(0,15)	(0,16)	(0,13)
	NaOH 1%	1,33 ^A	1,33 ^A	1,30 ^A	1,32 ^A	1,31 ^A
		(0,10)	(0,09)	(0,09)	(0,10)	(0,09)
	Dichloromethane	9,23 ^A	9,44 ^A	4,56 ^B	5,01 ^B	4,89 ^B
		(0,11)	(0,09)	(0,10)	(0,09)	(0,10)
	Nitrogen (%)	0,14 ^A	0,11 ^B	0,09 ^B	0,10 ^B	0,10 ^B
		(0,02)	(0,01)	(0,02)	(0,02)	(0,02)
Carbon (%)		62,21 ^A	66,44 ^B	66,11 ^B	66,49 ^B	66,57 ^B
		(1,15)	(0,74)	(0,50)	(0,45)	(0,41)
Hydrogen (%)		6,44 ^A	6,72 ^A	6,61 ^A	6,78 ^A	6,90 ^A
		(0,02)	(0,10)	(0,12)	(0,43)	(0,29)
Sulfur (%)		1,55 ^A	1,50 ^A	1,32 ^B	1,33 ^B	0,33 ^B
		(0,09)	(0,07)	(0,03)	(0,02)	(0,03)

Note: Values in parentheses correspond to the standard deviation; different letters indicate significant differences at 0.05.

3.3. Use of fiber as a composite material with wood sawdust

Table 3 shows the mean values corresponding to the property's density, moisture content, and HEΔ. The target standard density of the boards was set at 0.65 g cm^{-3} , which classifies them as medium density boards according to the ASTM standard. According to the analysis carried out, the treatment that presented the density closest to the standard value was the control treatment (T4) with an average value of 0.64 g cm^{-3} , followed by treatment T2. With what was observed, it is affirmed that as the proportion of *M. textilis* in the mixture increases, the density value decreases, although it is notorious that there were no significant differences between T1, T2 and T3 with the control treatment. These treatments obtained values below the standard target value, which may be due to several reasons; on the one hand, the high probability of losing particles in the demolding phase of the boards, and on the other hand, the variation in thickness caused by the change in temperature and humidity that occurs at the time of transferring the boards from the hot press to the conditioning chamber [11,12].

Table 3

Physical properties of particle boards composed from different proportions of Musa textilis and Gmelina arborea.

	TREATMENT	Density (g cm^{-3})	Moisture content (%)	HEΔ (mm)
Average	T1	0,60 AB	15,73 D	0,57 C
	T2	0,61 AB	12,89 A	0,17 AB
	T3	0,58 AB	14,79 C	0,25 B
	T4	0,64 B	12,06 A	0,12 A
	T5	0,57 A	16,08 D	0,52 C

Note: Different letters indicate significant differences at 0.05. HEΔ% corresponds to the swelling in thickness due to a change in moisture content from 12 to 18%.

Table 4 shows the mechanical properties evaluated. Regarding static bending, the modulus of rupture (MOR) showed that treatment T2 did not show significant differences with the control but did show significant differences with the treatments with more than 60% fiber (T1 and T5). Likewise, the modulus of elasticity (MOE) or flexural modulus did not show significant differences between the control treatment (T4) and the other treatments; the fact that treatment T2 (40% fiber) showed the highest value of MOE (17,04 GPa) is noteworthy. In relation to this, the amount of extractives present in the fiber used in this study [13] could contribute to the variations present in the results within the same treatment; since as stated by [14] to obtain the expected mechanical properties in the boards it is necessary that there is chemical compatibility between the components that conform it and additionally [15] also mention the interaction in the curing of the adhesive. [16] demonstrated the effects of chemical compatibility in boards with palm bagasse. Also, the orientation and distribution of fibers within the board has been shown to influence flexural strength, with incorrect orientation causing a decrease in strength [17].

Table 4

Mechanical properties of composite particleboards with different proportions of Musa textilis and Gmelina arborea species.

Properties		T1	T2	T3	T4	T5
Static bending (SB)	MOE (GPa)*	10,03 A	17,04B (7,26) (5,43)	13,73AB (2,32)	13,76AB (8,02)	8,84A (8,60)
	MOR (MPa)*	22,91 AB	28,02C (8,45) (3,05)	26,04ABC (8,39)	28,06BC (5,04)	18,92A (9,20)
	MOE (MPa)	18,82 A	58,38B	36,57AB	104,97C	21,54A

Parallel tension		(18,10)	(24,18)	(16,09)	(27,32)	(14,54)
(TII)	Strain	0,84A	0,98A	0,88A	2,31B	0,78A
	maximum (MPa)	(0,50)	(0,34)	(0,31)	(0,58)	(0,42)
Tension perpendicular (IB)	Strain	0,17A	0,25AB	0,23AB	0,62C	0,29B
	maximum (MPa)	(0,07)	(0,06)	(0,09)	(0,06)	(0,05)
Hardness (H)	Load	149,13 A	225,33BC	191,78B	235,16C	141,57A
	maximum (kg)	(32,57)	(39,44)	(20,73)	(26,86)	(41,52)

Note: Values in parentheses represent the corresponding standard deviation. Different letters indicate significant differences at 0.05. Parameters marked with an (*) correspond to results analyzed with nonparametric tests (n=10).

4. Discussion

It is demonstrated in this study that the largest proportion of the total dry biomass of Abaca plants during a fiber harvest corresponds to residues (approximately 40% of the dry biomass). About 20% of these residues contain fibers that are not part of the raw material that can be sold, and the rest are plant tissues and parts of the leaves that do not contain fibers. However, there is great potential for generating compost from this material. Residual fibers can be used locally in composite materials.

Based on the chemical properties of the fibers, the fiber of genotypes MT01 and MT03 was recommended for stationery, biodegradable materials, and fast degradation composites. These products are proposed due to the need for materials with high cellulose and

hemicellulose content and low lignin content; as it facilitates the pulping and pulping homogenization process and enhances the creation of higher quality paper [18]. [1] mention that this is the key to have low strength fibers to develop single-use biodegradable biomaterials or short life cycles. Furthermore, [19] recommend using fibers with low mechanical strength and low lignin levels for environmentally friendly, moderate-use, low value-added materials, which is compatible with both genotypes.

With respect to the use of fiber as a composite material, the gradual reduction of *Musa textilis* fiber proportions promoted progressive increases in density, moisture content, MOR, MOE and IB values. Thus, proportions greater than 40% of *M. textilis* significantly decreased the overall quality of the boards. Despite this, in all treatments with proportions lower than 50 % fiber, the MOR values exceeded the maximum reference points of the standard used. Therefore, the density (0.64 g cm^{-3}), MOR (28.06 MPa) and IB (0.62 MPa) properties of the boards corresponding to treatment T4 (control, 100% wood) met the minimum specifications established for particleboard categorized for use in dry conditions. However, T2 and T3 meet the minimum specifications required in these properties mentioned for low-density LD-2 grade boards.

5. Conclusions

With respect to the results of the characterization of the fibers, it is demonstrated that there are differences and therefore, the differentiated use of genotypes must be considered for the specific use of fibers in the development of composite materials. It is important to initiate tests with mixtures with plastics to determine the specific uses of biomaterials. It is recommended to continue with new research on the application of different fibers in matrices with polymers and other natural fibers and evaluate the efficiency and quality of the products and the creation of a new market. Therefore, these results are a first step to change the paradigm of *M. textilis* plantations in the tropics.

The quality of the composite boards obtained in this study is susceptible to improvement. The future challenge is to continue experiments to enhance the general properties of the boards. To this end, it is recommended to carry out a broader study that involves other species

of lignocellulosic and wood fibers, the use of lower proportions of fiber, the application of pretreatments to the fiber, the use of organic additives with different doses of adhesive and particle sizes.

Acknowledgements

This research is part of the research project “Evaluación del uso Potencial de Fibras Naturales como Biomaterial” code 1431034, with financial support from Vicerrectoría de Investigación of Instituto Tecnológico de Costa Rica, include Dirección de Posgrado.

References

- [1] Richter S., Stromann K., and Mussig J., Abaca (*Musa Textilis*) Grades and Their Properties a Study of Reproducible Fibre Characterization and a Critical Evaluation of Existing Grading Systems, Industrial Crops and Products, Vol. 42, pp.601-612. (2013).
- [2] Bazliah, D., Wulansari, S., Darmawan, A., Idzati, E., Ni'mah, H., Roesyadi, A. y Kurniawansyah, F. Prediction of Kappa number and carbohydrate degradation in oxygen delignification of Abaca fiber. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 1053. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1053/1/012015> (2021).
- [3] Vijaya Ramnath, V.M. Manickavasagam, C. Elanchezhian, C. Vinodh Krishna, S. Karthik, K. Saravanan. Determination of mechanical properties of intra-layer abaca–jute–glass fiber reinforced composite. Materials & Design, Volume 60. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.03.061> (2014).
- [4] Sambonino, B., Salavarría, J., Miele, J., Mata, M. Análisis del mercado internacional de la fibra de abacá, su oferta exportable hacia Reino Unido y su aporte en el cambio de la matriz productiva. Segundo Congreso Internacional en Administración de Negocios Internacionales. Universidad Pontificia Bolivariana. (2017).

- [5] Promotora de Comercio Exterior de Costa Rica. Ficha técnica Abacá. Recuperado de <https://www.descubre.cr/wp-content/uploads/2023/04/Ficha-Tecnica-Descubre-Abaca-Mar23.pdf> (2023).
- [6] Valenciano, C. Análisis del potencial de los residuos sólidos remanentes del procesamiento de Abacá (*Musa textilis*), como sustrato para la producción de hongo ostra (*Pleurotus* spp), Zona Huetar Norte y Atlántica, Costa Rica. Universidad Técnica Nacional. Recuperado de <https://repositorio.utn.ac.cr/items/cb379ab5-bec0-44a6-a26b-22ddc7fb3338/full> (2019).
- [7] Jácome, L., Martínez, M. C., De La Cruz, M., Chica, H., & Valencia, X. Rendimiento de fibra de dos variedades de Abacá (*Musa textilis*) en tres densidades de siembra. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 7(2). https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i2.5615 (2023).
- [8] Climate-data. Clima: Las Horquetas (Costa Rica). Climate-data. <https://es.climate-data.org/america-del-norte/costa-rica/heredia/las-horquetas-874786/> (2019).
- [9] Ortiz, E. & Soto, C. Atlas Digital de Costa Rica 2014. [CD-Rom]. Cartago, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica. (2014).
- [10] Di Rienzo, JA, Casanoves, F., Balzarini, MG, Gonzalez, L., Tablada, M. & Robledo, CW. InfoStat versión 2020e. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar> (2020)
- [11] Mendes, R. F., Mendes, L. M., Mendonça, L. L., Guimarães Júnior, J. B. & Mori, F. A. Qualidade de painéis aglomerados homogêneos produzidos com a madeira de clones de *Eucalyptus urophylla*. Cerne, 20, 329-336. <https://doi.org/10.1590/01047760.201420021273> (2014).
- [12] Rangel, L., Moreno, P., Trejo, S. & Valero, S. Propiedades de tableros aglomerados de partículas fabricados con madera de *Eucalyptus urophylla*. Maderas. Ciencia y tecnología, 19(3), 373-386. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2017005000032> (2017).

- [13] Valverde, J. C., Araya, M., Arias-Aguilar, D., Masís, C. & Muñoz, F. Evaluation of the Optimal Uses of Five Genotypes of *Musa textilis* Fiber Grown in the Tropical Region. *Polymers*, 14(9), 1772. <https://doi.org/10.3390/polym14091772> (2020).
- [14] Moya, R., Camacho, D., Oporto, G. S., Soto, R. F. & Mata, J. S. (2014). Physical, mechanical and hydration kinetics of particleboards manufactured with woody biomass (*Cupressus lusitanica*, *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*), agricultural resources, and Tetra Pak packages. *Waste management & research*, 32(2), 106-114. <https://doi.org/10.1177/0734242X13518959> (2014).
- [15] Han, G., Zhang, C., Zhang, D., Umemura, K. & Kawai, S. Upgrading of urea formaldehyde-bonded reed and wheat straw particleboards using silane coupling agents. *Journal of Wood Science*, 44, 282-286. <https://doi.org/10.1007/BF00581308> (1998).
- [16] Adam, A. B. A., Basta, A. H. & El-Saied, H. Evaluation of palm fiber components an alternative biomass wastes for medium density fiberboard manufacturing. *Maderas, Ciencia y Tecnología*, 20(4), 579-594. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2018005004601> (2018).
- [17] Nishimura, T., Amin, J. & Ansell, M. P. Image analysis and bending properties of model OSB panels as a function of strand distribution, shape and size. *Wood Science and Technology*, 38(4), 297-309. (2004).
- [18] Moreno, L. O. & Protacio, C. M. Chemical composition and pulp properties of abaca (*Musa textilis* Née) cv. Inosa harvested at different stages of stalk maturity. *Annals of Tropical Research*, 34(2), 45-62. (2012).
- [19] Shibata, M., Ozawa, K., Teramoto, N., Yosomiya, R. & Takeishi, H. Biocomposites made from short abaca fiber and biodegradable polyesters. *Macromolecular materials and engineering*, 288(1), 35-43. <https://doi.org/10.1002/mame.200290031> (2003).

Artículo 10: Natural fibers and sustainability: a life cycle approach for Costa Rican *Musa textilis* production

Laura Brenes-Peralta, Kevin Arias Ceciliano, María Fernanda Jiménez-Morales, Manuel

Masís Jiménez, Rooel Campos Rodríguez, Dagoberto Arias-Aguilar

Abstract

Natural fibers have been used since ancient times as valuable inputs to meet basic clothing and housing needs; however, technological developments from the past century accelerated the use of synthetic fibers. The latter has created benefits but also unbalances between the inputs and outputs of systems using these materials. In consequence, and in view of Sustainable Development Goal no.12 for Sustainable Production and Consumption, which claims to decouple economic growth from socio-environmental degradation, a renewed interest in nature-based fibers has risen. This research aims to support decision-making study the environmental, economic, and social insights of the abacá (*Musa textilis*) produced in Costa Rica through a life cycle thinking approach as input. The main findings suggest that integrated cultivation of acabá with forest species could result in lower environmental impacts and better living conditions for farmers. This is relevant when analyzing the sustainability of natural fibers in further life cycle stages and their traceability.

Keywords:

abacá, nature-based fibers, life cycle thinking, sustainable production, farmers

Introduction

Fibers are filiform materials made up of macromolecules known as polymers that consist of a stable sequence of monomers. They can be classified into many categories related to their origin and composition. Natural fibers come from animals, minerals or plants. The latter ones can be obtained from the leaves, fruits, seeds, stalks, pseudostems, stems, or wood sections of plants (Khatib, Machaka, & Elkordi, 2022) (Parameswaranpillai, y otros, 2023) (Chand & Fahim, 2021).

Throughout history, natural fibers have been crucial in satisfying many human needs, such as housing and clothing. As equipment and research evolved, new production technologies emerged in the Industrial Revolution (Íñigo Fernández, 2012), producing fossil-based polymers. In consequence, the use of natural fibers declined in the late 1900s, and with the increase in the production of synthetic fibers, environmental concerns increased as well, due to petroleum depletion (Çağrı Kılınç , Durmuşkahya, & Seydibeyoğlu, 2017) and waste impacts derived from those new materials. Together with other economic sectors, synthetic polymer production has led to imbalances between inputs and outputs, affecting economic

and ecological systems, exceeding six of the nine existing boundaries (Richardson, y otros, 2023). In addition, these materials' productive processes and end-of-life alternatives oppose the urgent need to decouple economic growth from socio-environmental degradation, as presented by Sustainable Development Goal (SDG) 12 for Sustainable Production and Consumption (United Nations, 2024).

In response to these concerns, a renewed interest in natural fibers surged, both from researchers and industries, as they entail a more sustainable, renewable, and less costly opportunity than convenient synthetic fibers (Çağrı Kılınç , Durmuşkahya, & Seydibeyoğlu, 2017) (Abd Halip , y otros, 2019). In fact, the Food and Agricultural Organization FAO declared 2009 as the year of natural fibers, aiming to understand and improve their production. As part of the publications of that year, a summary of plant-based fiber sources was published, highlighting abaca, coir, cotton, flax, hemp, jute, ramie, and sisal (FAO, 2009). Bamboo, banana, linen, and wood are among other sources as well, and depending on the part of the plant where fibers originate, extraction methods and properties would also vary.

Natural fibers entail many desired characteristics, whether for clothing, construction, automobile and aircraft industries, or medical applications (Chand & Fahim, 2021). These lignocellulosic fibers are biodegradable, noncarcinogenic, lightweight, abundant, and renewable-sourced (Verma & Senal, 2019) (Chand & Fahim, 2021). In addition, the growing market supposes job creation and the maintenance of plant-based fiber livelihoods in many rural sites. However, these benefits also contrast with certain disadvantages, especially those related to mechanical properties such as the relatively poor strength, hydrophilic properties, durability, and the expected variability in diameter, length, and microfibrillar angle, due to their natural origin (Parameswaranpillai, y otros, 2023).

Abaca (*Musa textilis*), or Manila hemp, is a Musaceae family plant with practically ideal “strength, buoyancy, resistance to saltwater damage, and long fiber length (FAO, 2009).” Due to these conditions, its pseudostem has been used to extract fiber, which is later used for ropes and nets in the fisheries and shipping industries. The energy-saving production process,

its uniqueness, thermal stability, and aesthetic characteristics have widened its use in the clothing sector and replaced glass fiber in automobiles (FAO, 2009), as well as other uses. Literature is still scarce for this crop, but some studies have begun to address agronomical, productivity, and technological aspects. For instance, the fungus *Fusarium oxysporum* f. threatens abaca and most Musaceae family, creating a need and interest for cropping practices and possible varietal studies. Valverde et al. (2022) evaluated the uses of five genotypes of abaca in the tropics, considering this was key for selecting and producing cultivars with homogenous properties desired by the market. The physical, mechanical, chemical, and energetic properties from each evaluated genotype suggested some were better suited for paper production, composites, and biodegradable materials, as others would perform better when used as textiles, bioenergy, and heavy-duty fibers (Valverde, Araya, Arias-Aguilar, Masis, & Muñoz, 2022). Besides genetic and phenotypic characteristics, which in general result in stems with 5% fiber, abaca fiber extraction methods can also influence its productivity (Araya-Gutiérrez, Garro Monge, Jiménez-Quesada, Arias-Aguilar, & Quesada Cordero, 2023), ranging from 20kg of fiber/day in hand stripping to 120kg/day in spindle stripping to 140kg/day in decortication methods for extraction. Cropping systems can vary as well. Plant material can be sourced by seeds, corms, suckers, and tissue-culture plants; planting distances range from 2.5 to 3.0m among each abaca unit, and harvest can occur from 18 to 24 months after planting, with recurrent harvests of new stems each 4 to 6 months (Araya-Gutiérrez, Garro Monge, Jiménez-Quesada, Arias-Aguilar, & Quesada Cordero, 2023), and an estimated 15 to 20 years lifespan.

The main abaca producers are located in the tropics. According to FAO, the Philippines and Ecuador lead the market, while Costa Rica is in third position with 1242 tons/year. Global demand is not met, which suggests that countries like Costa Rica and other minor but growing producers can still capture part of this market (Araya-Gutiérrez, Garro Monge, Jiménez-Quesada, Arias-Aguilar, & Quesada Cordero, 2023) (Valverde, Araya, Arias-Aguilar, Masis, & Muñoz, 2022). One particular way to do this is by specializing and differentiating the product. For instance, the Costa Rican abaca productivity and quality, due to the agroclimatic conditions, the technology and knowledge capacity, as well as the country's recognition for environmentally sound production systems, play a key role in currently obtaining a renowned

product, reaching India, Japan, and Germany (Arias-Aguilar, 2023) (GIZ, s.f.). However, the limited literature on reducing negative impacts on production and increased productivity (Cortez, Alcantara, Pacardo, & Rebancos, 2015) represents a gap in achieving this potential differentiation. We address this gap by aiming to support decision-making processes for the abaca primary sector by using life cycle assessment (LCA) to compare the environmental impacts of two ongoing production systems in the Northern-Caribbean lowlands in Costa Rica. Contributions derived from this research can highlight hotspots, trade-offs, and opportunities for the primary sector, mainly composed of small farmers as key actors in the natural fiber supply chain.

Materials and Methods

Case description:

Abaca was introduced in Costa Rica around the decade of 1940; however, the increase in cheap synthetic fibers caused the crop to decline. Current sustainability efforts around the globe and the renewed interest in biomaterials have caused attention to the crop again, which is currently grown by approximately 600 farmers in the lowlands, including indigenous territories and family agriculture schemes (Arias-Aguilar, 2023). This case study compared a conventional plantation that follows the input and crop management recovered in literature and official data by the Ministry of Agriculture and Livestock (MAG in Spanish) and defined as the business-as-usual scenario (BAU), and an alternative scenario built upon the experience of 40 farmers from the Northern and Caribbean Huetar Region of Costa Rica, affiliated with one of the leading abaca fiber companies, hence receiving their extension services and management advise (identified as ‘local scenario’).

Farmers in this area used to grow palm, coconut, banana, or cassava. Once abaca was introduced into their farms, the mean productive area would be 2.3 ha, with 1ha being the most common area. Farmers establish the plantation by using suckers in 3x3m, 3x4m or 4x4m configurations to reach a plant density of 1000 to 1111 plants /ha. Then they engage in standard practices like fertilization and pruning, achieving the first harvest 18 months later, and two harvests/year afterwards. Abaca plantations are expected to last for 15 years in according to the consulted extensionists.

The harvest moment is calculated when the plant flowers, according to the size of the pseudostem and the demand. First, the pseudostem is cut from the productive unit with a knife or machete, eliminating the leaves and very slim sections. Then the outer covering of the stem is removed, and the fiber extraction is done by spindle stripping, using a local-built machinery with a diesel fuel-motor. Finally, the fiber is sundried in the farms, transported to a packing house, and packed in 1ton units before shipping for industrialization (PROCOMER, 2023).

Life Cycle Thinking methods:

Life Cycle Thinking (LCT) is a philosophical and methodological framework that considers the environmental, social, and economic effects of a product or service throughout its entire life cycle, from cradle (or the moment it is born) to grave (or the end-of-life moment). Life Cycle Assessment (LCA) appears suitable when studying the environmental dimension, as it is a quantitative and standardized method within LCT (Farjana, Mahmu, & Huda, 2021), to present the environmental impacts, in this case, of *Musa textilis* production in Costa Rica. The assessment followed the steps present in ISO 14044 (INTECO, 2007)

The Goal and Scope were defined as assessing the environmental impacts of producing 1ton (functional unit) of virgin and dried abaca fiber; therefore, system boundaries are established from the cradle to the farm gate (figure 1).

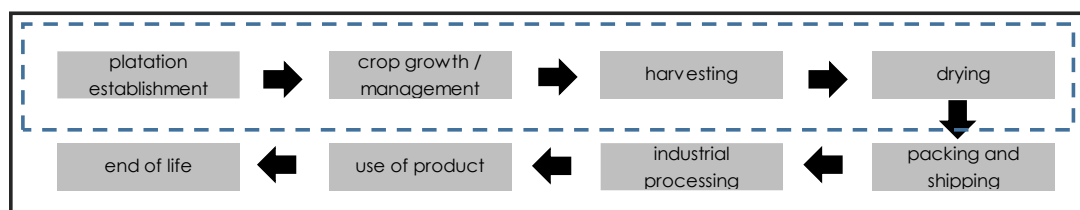


Figure 1. Life cycle stages of abaca (stages within the dotted line represents the system boundaries for the study of the environmental impacts of 1 ton of abaca from cradle to farm-gate).

The Inventory Assessment used inventory data based on literature reviews (Cortez, Alcantara, Pacardo, & Rebancos, 2015), official data for abacá in Costa Rica, and primary data extracted from the researchers' field visits to abaca plantations in the area of study, as well as expert consultations in-person and through virtual meetings. Regarding the Impact

Assessment, the selected midpoint impact categories were defined consistently with other LCA studies in agriculture (García-Herrero, Brenes-Peralta, Leschi, & Vittuari, 2022); therefore, it included Global Warming Potential (GWP, expressed in CO₂ eq), Freshwater Eutrophication (FwE, in P eq), Human carcinogenic toxicity (HCT in 1.4-DCB), and Fossil resource scarcity (FRS in oil eq), using the ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.02 hierarchical version method (Huijbregts, , Steinmann, , Elshout, , & et al., 2017). The OpenLCA software, which included Agribalyse_v301, was used in this case. Finally, the Interpretation step was developed iteratively with the previously mentioned steps of the LCA, expecting to detect hotspots, trade-offs within scenarios and generate a discussion of the implications of one practice or the other to support the overall aim of the research.

Results and Discussion

Data collection allowed us to understand that manual operations intervene in most steps of the stages within the system boundaries of the study. Land preparation, sometimes weed control, and fiber stripping are practically the only steps involving machinery; instead, the sowing, crop management (which includes fertilization, pruning, and weed control), and the harvest are manual with common tools and inputs. For this study's purposes, certain elements were cut-off the inventory due to the small contribution (less than 1% to the overall process) or the similarity between both scenarios, i.e, the suckers, since they are brought from the exact origin in both cases and once differed into the 15year lifespan of plantations represent a very small contribution, as well as the land use change, since it was assumed all plantations were established in similar pre-permanent crop sites.

Table 1 compares the two studied scenarios, accounting for the four impact categories selected for this analysis.

Table 1. Environmental impacts from 1ton of abaca fiber

Impact category	Reference	BAU	
	unit	scenario	Local scenario
Fossil resource scarcity	kg oil eq	4,682	0,538
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,006	0,001
Global warming	kg CO2 eq	15,252	1,908
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	0,615	0,114

The results indicate the BAU is currently responsible for higher impacts than the local scenario. This is mostly attributable to the inputs, and particularly to fertilizers; more specifically nitrogen (N) specially in the case of GWP. The BAU usually uses conventional granulate fertilizers while the local scenario extensionists recommend the combination of complete formulas, urea and liquid fertilizers poured in leaves and not only in soil fertilization. This latter is expected to be more precise, use less input, and promote less lixiviation of volatilization than conventional N sources. Consequently, the main hotspot to be addressed in abaca fiber production is fertilization, and considering the observed results from the local scenario, standard yields of 3ton/ha are possible with tailored and efficient practices. Cost can be a potential trade-off that needs to be studied in depth; however, it was out of the scope of this paper.

The other impact categories are also lower in the local scenario, both because of the amount and type of inputs (FwE, HCT) but also due to location, which causes a more efficient logistic system within the farmers belonging to the local scenario and the input sources, resulting in less transporting distances and hence fossil fuel use (FRS).

When compared to other literature sources, key elements seem to be present for the differentiation of the Costa Rican abaca fiber. Although the literature is scarce for abaca specifically, Cortez et al. (2015) expressed lower yields (1 ton required 1.6ha) with higher

GWP than observed in our study (47.7 kg CO₂ eq). This higher potential can be attributed not only to inputs and culture practices but also to the transport to the packing house, which is within the system boundaries of the study, in contrast to our case where this stage was excluded. Still, even when almost 50% of the GWP is attributed to transport, it is higher than the BAU and local scenarios. It is relevant to indicate that fiber extraction produces residues. Both studies ignored this from the inventories based on the fact that this material can be incorporated or used as organic matter in the soil and coverage for weed control, aiding in carbon sequestration. Nonetheless, preliminary studies from Tecnológico de Costa Rica show it is possible to treat those residues and obtain either a good quality compost which can add a new circular approach to the local scenario, or a weed control material, lowering the dependence on chemical herbicides or fuel-powered machinery to cut grass and other weeds.

Conclusions

Costa Rican abaca fiber was studied under a LCT perspective, showing the opportunity to market a fiber with lower environmental impacts than others globally. Global warming potential is less than half of other studies per 1 ton of fiber, with the potential of even lower emissions when a circular economy can be considered due to the treatment of fiber waste left in the fields. This latter also contributes to improving the main hotspot found in abaca production: fertilizers. For many agriculture activities, N is the most pressing input to be observed when it is considered for global warming potential. However, other inputs and practices intervene in other impact categories such as human carcinogenic toxicity and freshwater eutrophication.

Further analysis is still required in this product, for instance, current research is aiming for shaded abaca and monoculture differences, which can also affect the environmental impact outcomes.

Author contributions

Laura Brenes-Peralta Conceptualization; Formal analysis; Investigation; Methodology; Software; Writing - original draft; and Writing - review & editing.

Kevin Arias Ceciliano Conceptualization; Data curation; Validation; Writing - review & editing.

María Fernanda Jiménez-Morales Formal analysis; Investigation; Writing - review & editing.

Manuel Masís Jiménez Formal analysis; Investigation; Methodology; Writing - review & editing.

Roel Campos Rodríguez Project administration; Resources; Writing - review & editing.

Dagoberto Arias-Aguilar Conceptualization; Supervision; Validation; Visualization, Writing - review & editing

Acknowledgements / funding

The authors thank the Research and Extension Department of the Tecnológico de Costa Rica for funding this project under project code no. 1431034.

We also thank the agronomists, managers and personal from the company and farms involved in the local scenario.

1. References

- Abd Halip , J., Hua , L., Ashaari , Z., Tahir, P., Chen, L., & Uyup , M. (2019). 8 - Effect of treatment on water absorption behavior of natural fiber–reinforced polymer composites. En *Mechanical and Physical Testing of Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites* (págs. Pages 141-156). Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102292-4.00008-4>.
- Araya-Gutiérrez, D., Garro Monge, G., Jiménez-Quesada, K., Arias-Aguilar, D., & Quesada Cordero, R. (2023). Abaca: a general review on its characteristics, productivity, and market in the world. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín* 76(1), 10263-10273 <https://doi.org/10.15446/rfnam.v76n1.101710>.
- Arias-Aguilar, D. (2023). Experiencias del TEC en la generación de conocimiento sobre el cultivo de abacá en acompañamiento a las personas productoras de la Zona Norte y

- Atlántica de Costa Rica. *InvestigaTEC Vol. 16 Núm. 46 (2023)*, pág.
https://revistas.tec.ac.cr/index.php/investiga_tec/article/view/6633.
- Çağrı Kılınç , A., Durmuşkahya, C., & Seydibeyoğlu, M. (2017). *10 - Natural fibers Fiber Technology for Fiber-Reinforced Composites*. pp 209-235
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101871-2.00010-2>.
- Chand, N., & Fahim, M. (2021). *1 - Natural fibers and their composites. Tribology of Natural Fiber Polymer Composites Second Edition*. pp 1-59
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818983-2.00001-3>.
- Cortez, C., Alcantara, A., Pacardo, E., & Rebancos, C. (2015). Lyfe Cycle Assessment of Manila Hemp in Catanduanes, Philippines. *Journal of Environmental Science and Management* 18(2), 53-61 2015) ISSN 0119-1144.
- FAO. (2009). *Profiles of 15 of the world's major plant and animal fibres*. Obtenido de International Year of Natural Fibers: <https://www.fao.org/natural-fibres-2009/about/15-natural-fibres/en/>
- Farjana, D., Mahmu, D., & Huda, D. (2021). Chapter 1 - Introduction to Life Cycle Assessment. En *Life Cycle Assessment for Sustainable Mining* (págs. 1-13).
<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85451-1.00001-9>.
- García-Herrero, L., Brenes-Peralta, L., Leschi, F., & Vittuari, M. (2022). Integrating Life Cycle Thinking in a policy decision tool: Its application in the pineapple production in Dominican Republic. *Journal of Cleaner Production* 360, 132094
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132094>.
- GIZ. (s.f.). *Biodiversidad en plantaciones de abaca: hacia una producción sostenible*. Obtenido de <https://www.bpmesoamerica.org/wp-content/uploads/2020/11/GIZ-Arte-digital-Manual-Abac%C3%A1-20-01-15-v15-GJ.pdf>
- Huijbregts, , M., Steinmann, , Z., Elshout, , P., & et al. (2017). ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. *Int. J. Life Cycle Assess.*, 22 , 138-147, 10.1007/s11367-016-1246-y.
- INTECO. (2007). *INTE/ISO 14044:2007 Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices*. San José : INTECO.
- Íñigo Fernández, L. (2012). *Breve historia de la revolución industrial*. . Madrid: Ediciones Nowtilus.

- Khatib, J., Machaka, M., & Elkordi, A. (2022). 5 - *Natural fibers*. Editor(s): Francesco Colangelo, Raffaele Cioffi, Ilenia Farina: *Handbook of Sustainable Concrete and Industrial Waste Management*. Woodhead Publishing: Pages 85-107, ISBN 9780128217306 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821730-6.00014-0>.
- Parameswaranpillai, J., Ayippadath Gopi, J., Radoor, , S., Dominic C. D., M., Krishnasamy, , S., Deshmukh, , K., . . . Sienkiewicz, N. (2023). *Turning waste plant fibers into advanced plant fiber reinforced polymer composites: A comprehensive review*, *Composites Part C*. Volume 10, 100333, <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2022.100333>.
- PROCIMER. (2023). *Ficha Técnica Abacá*. Obtenido de <https://www.descubre.cr/wp-content/uploads/2023/04/Ficha-Tecnica-Descubre-Abaca-Mar23.pdf>
- Richardson, K., Steffen, W., Luth, W., Bendten, J., Cornell, S., Donges, J., . . . Rockström, J. (2023). Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advances Vol 9, Issue 37*, DOI: 10.1126/sciadv.adh2458.
- United Nations. (2024). *Goal 12: Ensure sustainable consumption and production patterns*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-consumption-production/>
- Valverde, J., Araya, M., Arias-Aguilar, D., Masis, C., & Muñoz, F. (2022). Evaluation of the Optimal Uses of Five Genotypes of *Musa textilis* Fiber Grown in the Tropical Region. *Polymers 14(9)*, 1772; <https://doi.org/10.3390/polym14091772>.
- Verma, D., & Senal, I. (2019). 6 - Natural fiber-reinforced polymer composites: Feasibiliy study for sustainable automotive industries. En *Biomass, Biopolymer-Based Materials, and Bioenergy* (págs. 103-122). Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102426-3.00006-0>.

Artículo 11: Evaluación del uso potencial del itabo (*yucca elephantipes regel*) para la producción de papel

Evaluation of the potential use of itabo (*Yucca elephantipes* Regel) for the paper production paper.

Trabajo Final de Graduación presentado y aprobado en la Maestría de Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción. Área Académica Agroforestal. TEC

Resumen

Las fibras naturales se están convirtiendo hoy en día en una parte integral de la vida cotidiana, por lo que existe un creciente interés de su desarrollo como materia prima para empaque, textiles y productos de uso diario. En Costa Rica existen plantas herbáceas con potencial de proveer fibras vegetales para el desarrollo de biomateriales, las cuales, no han tenido la suficiente investigación. Una de estas plantas es representada por el Itabo (*Yucca elephantipes*). Por tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar bibliográficamente el uso potencial del Itabo como alternativa para la producción de papel artesanal. Se evaluaron las características anatómicas, físicas, químicas y termo gravimétricas de la fibra obtenida del tallo como de las hojas residuales del Itabo, y las propiedades físicas, mecánicas y ópticas adecuadas para su uso como papel. Los estudios consultados demuestran que las fibras obtenidas a partir del itabo tienen el potencial para producir papel artesanal, el cual, muestra características favorables para la producción, que al combinarlo con diferentes valores de Freeness y diferentes tipos de pulpado, mejoran la calidad del producto final.

Palabras clave: yucca, itabo, fibras, fibras naturales, papel.

Abstract

Natural fibers are becoming an integral part of humans daily lives, so there is a growing interest in their development as raw materials for packaging, textiles and everyday products. In Costa Rica there are herbaceous plants with the potential to provide vegetable fibers for the development of biomaterials, which have not been thoroughly researched. One of these plants is represented by Itabo (*Yucca elephantipes*). Therefore, the objective of this study was to evaluate from the literature the potential use of Itabo as an alternative for the production of artesian paper. The anatomical, physical, chemical and thermo gravimetric characteristics of the fiber obtained from the Itabo stem and leaves were evaluated, as well as the physical, mechanical and optical properties suitable for its use as paper. The studies consulted show that the fibers obtained from itabo have the potential to produce artisanal paper, which shows favorable characteristics for production, that when combined with different values of Freeness and different types of pulping, improve the quality of the final product.

Keywords: yucca, itabo, fiber, natural fiber, paper.

1.Introducción

La *Yucca Elephantiphes*, es conocida en Costa Rica como “Itabo”, aunque casi en todas partes de América Central se conoce como “izote”, una palabra derivada del nahuatl que significa jabón. Su territorio abarca desde el norte de México en el desierto de Sonora, distribuida en cultivos en América Central (Patzan, 2020). Pertenecce a la familia Asparagaceae y género *Yucca*, el cual posee alrededor de 40 especies, más en Costa Rica se han conocido ampliamente dos: itabo y el daguillo. Es una planta rustica y de fácil reproducción, la cual, al desarrollarse puede alcanzar hasta diez metros de altura (Blanco & Campos, 1991).

La planta posee hojas de 80 a 95 cm de longitud y ancho de 3.5 a 5.5 cm, de color verde claro, sin brillo; inflorescencia cubierta por el follaje y erecto o algo inclinado. Produce racimos florales similares a las palmas, sus flores son dulces y comestibles, campanuladas, de color blanco, cremoso y con ligero aroma, de seis tépalos libres curvados, seis estambres, ovario súpero, trilocular y óvulos numerosos. Forma un fruto que parece dátil, es una baya indehisciente de 10 a 12 cm, parte terminal cónica y simétrica, con semillas redondas de 8 a 10 mm y de 3 a 4 mm de grosor, rugosas y opacas de color negro cuando maduran (Vázquez & Munguia, 2015).

En Costa Rica el Itabo se presenta mayormente distribuido en las regiones templadas y cerca de las costas, especialmente en la zona del pacífico (Blanco & Campos, 1991). Regularmente se han visto arriba de los 1 700 msnm o posiblemente a un nivel mayor. Es una planta que soporta muy bien los climas secos, así como los húmedos, adaptándose a la mayoría de los microclimas e igualmente a zonas menor altitud (Patzan, 2020). Vázquez & Munguia, (2015) mencionan que la distribución de las especies de *Yucca* con fruto carnosos está mejor adaptadas a las condiciones de aridez, las plantas poseen raíces fibrosas, más aptas a las condiciones de sequía; en cambio, las especies de fruto capsular poseen rizomas, que son más propios de regiones húmedas.

Históricamente, el género *Yucca* se había usado desde antes de la llegada de los españoles al continente americano. Generalmente se obtenía la fibra de las hojas, principalmente usándose para ello tres especies: *Yucca carnerosana* Trel. McKelvey, *Yucca filifera* Chabaud y *Yucca*

periculosa Baker, de las cuales, se elaboraban cuerdas, sandalias, ropa, redes y otros utensilios (Vázquez & Munguia, 2015). En Estados Unidos, plantas del mismo género del Itabo, se utilizaban para producir papel y según Blanco & Campos (1991) la *Yucca elephantipes* se utilizó en el pasado para hacer papel cuyo color dependía del estado de la hoja.

Existen datos que para el año 1991, las hojas se partían en tiras y se usaban como cordeles y el tallo se exportaba como planta ornamental (Blanco & Campos, 1991). Además, Vázquez & Munguia, en el 2015 afirman que el itabo es una planta utilizada por artesanos para obtener hilo, pero la calidad de este variará con respecto a las condiciones climáticas a la hora de su cosecha. Por ejemplo, en la época seca se encuentran las características deseadas de resistencia, color blanco (similar al haber pasado por un proceso de blanqueado) y sedosidad de la fibra, aun cuando los artesanos mencionan que la mejor fibra se obtiene en época de lluvias, ya que es cuando no se rompe la madeja (Vázquez & Munguia, 2015).

Hacia los finales de los 80 e inicios de los años 90, en Costa Rica se desarrollaron investigaciones del uso de las fibras de sus hojas (Blanco & Campos, 1991), tallos (Gutiérrez & Blanco, 1997) e inclusive se documentó una tesis de licenciatura con un estudio de factibilidad para la producción y exportación del itabo (Tomeu, 1990). En estos estudios se concluye que las fibras resultantes de las hojas y del tallo presentan condiciones para el desarrollo de materiales como papel.

Tomando esto como referencia y que la fabricación de pulpa para papel proveniente de fuentes maderables es en la actualidad uno de los sectores industriales más importantes en el mundo, pero que los procesos industriales involucrados en su producción consumen grandes cantidades de energía y de agua y requiere grandes superficies de terreno en monocultivos principalmente (Altesor et al., 2008), se hace necesario evaluar la potencialidad para la fabricación de papel a través de fibras no convencionales, como el Itabo.

La materia prima fundamental para fabricar papel es la celulosa, constituyente esencial de los tejidos vegetales, cuya función es la de dar resistencia a los mismos. Se obtiene

principalmente de madera (55%), de otras fibras vegetales denominadas no madereras (9%) y de papel recuperado (16%) (Casey, 1991). Para este 9% proveniente de otras fuentes no madereras, se suelen enfrentar problemas como la selección de las materias primas más adecuadas, la obtención del mismo grado y calidad en el pulpado y en la formación del papel, y la elaboración de papeles que sean agradables al tacto y atractivo a los ojos. Es por ello que según Benitez et al. (2019), la correcta elección del material a evaluar para obtener papel de calidad debe tomar en cuenta el análisis de (i) la materia prima fibrosa (especie, edad, composición química, tipo de elementos fibrosos, dimensiones de las fibras, otros), (ii) el pulpado y formación del papel (tipo de pulpado, rendimiento de la pulpa, composición química, dimensiones de las fibras, tamaño y composición del papel, espesor, tipo y grado del papel, otros), y (iii) las características ópticas (imagen, color, opacidad, transparencia, brillo, otros).

En Costa Rica, existe gran cantidad de plantas herbáceas dedicadas a la exportación, las cuales pueden proveer fibras vegetales para uso industrial. Algunos ejemplos son representados por la piña (*Ananas comosus*), cabuya (*Furcracea cabuya*), palma africana (*Elaeis guineensis*), itabo (*Yucca elephantiphes*), pejibaye (*Bactris gassipaes*) o caña india (*Dracaena massangeana*) (Gutiérrez et al., 1994).

Para el género *Yucca*, en su especie *treculeana*, ha sido estudiado como materia prima para la obtención de celulosa, tratándolo con sosa al 3% a 4 atmósferas durante 14 horas. En este estudio, se encuentra el 10% de celulosa en las hojas en su estado natural de humedad y 20% en el tronco o ramas. En un estudio posterior, se encuentran 48-9 % sobre peso seco, en una muestra que se tomó pretendiendo aproximar la distribución en la planta integral. (Erdos & Alvarado, s.f.).

Como menciona Altesor et al. (2008), para mantener volúmenes altos de producción se necesita el abastecimiento de materia prima al menor costo posible, considerando como opción viable especies leñosas de crecimiento rápido. Con ello, la importancia de esta investigación consiste en investigar opciones viables y alternativas para la producción de papel, al ser el itabo una planta con bajos requerimientos en fertilidad, con posibilidad de

tener una densidad de siembra de hasta 40 000 plantas/hectárea, muy adaptable al sol o sombra parcial, así como a suelos arcillosos, arenosos, francos, alcalinos o ácidos y con alta tolerancia a la sequía, podría representar un alto potencial de negocio (Gilman & Watson, 1993) y (Jiménez & Gamboa, 1994). Sus características de cultivo representan bajos costos de operación, pudiendo ser aprovechado con triple propósito (cultural, exportación y fibra naturales). Es por ello que la utilización de esta planta en el mercado costarricense podría representar una oportunidad de negocio y diversificación de la producción agrícola en algunas zonas más vulnerables del país.

Así mismo, tomando en consideración los posibles beneficios sociales, económicos y ambientales que conllevaría la producción de itabo para la producción de pulpa, se estaría trabajando con los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible: fin de la pobreza, ciudades y comunidades sostenibles y acción por el clima.

En este estudio se propone evaluar el potencial de la fibra del Itabo (*Yucca Elephantipes*), como alternativa para la producción de papelería a través de la revisión bibliográfica existente, como investigación inicial para su posible aprovechamiento como material opcional.

2. Metodología

Se desarrolló esta investigación considerando la información disponible en textos digitales y físicos hasta octubre 2022, con la finalidad de examinar la bibliografía publicada y situarla en el contexto de la utilización del itabo para la producción de papel.

Se buscó resumir y analizar la información disponible sobre el uso potencial del itabo para la producción de papel basado en una búsqueda cuidadosa de la literatura. Según Vera (2009) debido a que los resultados de los estudios individuales de investigación pueden verse afectados por muchos factores, combinar los resultados de diferentes estudios sobre un mismo tema puede ser de utilidad para llegar a conclusiones más fundamentadas.

Tomando como referencia a Gómez et al. (2014), la metodología propuesta se compuso de cuatro fases: i.) definición del problema, ii.) búsqueda de la información, iii.) organización de la información y iv.) análisis de la información.

Definición del problema

Aunque en la actualidad, la madera es por mucho la principal materia prima utilizada en la industria de pulpa y papel, es un material relativamente nuevo en la fabricación de papel, dado que, históricamente este se produjo exclusivamente a partir de fibras no maderables (Pande, 1998). Si bien la producción de papel mundial está soportada principalmente en la madera debido a su alto contenido de celulosa, actualmente se buscan fuentes alternativas que desestimen el uso de este recurso favoreciendo la protección de los bosques (González et al., 2019). En Costa Rica existen plantas herbáceas con potencial de proveer fibras vegetales para el desarrollo de biomateriales, las cuales, no han tenido la suficiente investigación. Algunos ejemplos son representados por la piña (*Ananas comosus*), cabuya (*Furcracea cabuya*), palma africana (*Elaeis guineensis*), itabo (*Yucca elephantiphes*), pejibaye (*Bactris gassipaes*) o caña india (*Dracaena massangeana*) (Gutiérrez et al., 1994). Es importante destacar que, uno de los beneficios del utilizar esta alternativa es no fabricar materiales para un solo propósito, ya que, estos cultivos tienen la facilidad de poder ser aprovechados como subproductos de una cadena principal, que constituye una posibilidad más de eliminación y reciclado de desechos (Villegas & González, 2013)

Búsqueda de información

Con el fin de tener la mayor cantidad de información, se utilizaron fundamentalmente los tipos básicos de fuentes propuestas por Dankhe (1986) (citado por Hernández et al., 2014): i) Fuentes primarias: utilización de revistas como principal vehículo de comunicación de la información científica ii) Fuentes secundarias: con el propósito de detectar las referencias necesarias y localizar fuentes primarias. iii) Fuentes terciarias: donde se obtuvo información para detectar a través de ellas las fuentes primarias o secundarias de interés. En este caso, archivos digitales en su gran mayoría, provenientes de libros de texto, artículos de revisión, y biblioteca virtual, entre otros.

Se lograron revisar más de 60 referencias bibliográficas provenientes las bases de datos digitales de la Universidad de Costa Rica, del Tecnológico de Costa Rica y de la Universidad EARTH. Así mismo, se utilizaron como referencia las plataformas Ebsco y Scopus para la revisión de artículos. Se realizó una revisión minuciosa de artículos en el idioma español e inglés, además, se evaluaron estudios realizados en el país bajo este mismo tema y referencias internacionales. Tomando en consideración que no existen muchas investigaciones sobre el uso de esta planta para la producción de papel, se evaluaron otras investigaciones con plantas de los mismos géneros y otras fibras vegetales con características físicas y químicas similares como comparativo.

Organización de la información

Para tener una mejor comprensión de los temas a investigar, se estableció una estrategia de búsqueda y síntesis de la información, la cual, consistió en conocer inicialmente aspectos generales de la planta, su distribución y datos relevantes sobre su desarrollo, y luego, las características relevantes para la producción de papel, iniciando con las características de la fibra y posteriormente de la pulpa procesada. La información más importante recabada de cada artículo consultado fue escrita en modo de resumen para luego ser analizada con el resto de las lecturas, y con ello, hacer un comparativo de información con mayor congruencia.

Análisis de la información

La determinación de la calidad de la información consultada fue dada por la metodología propuesta por Raff (2013) (Figura 1). Además, para iniciar la lectura del artículo se consideró el autor, la revista donde se publicó la información y el año de publicación. Es importante resaltar que, debido a que no existen investigaciones recientes, se tomaron referencias del año 1950 hasta el 2022.

Figura 1

¿Cómo leer un artículo científico?



Fuente: Raff, 2013.

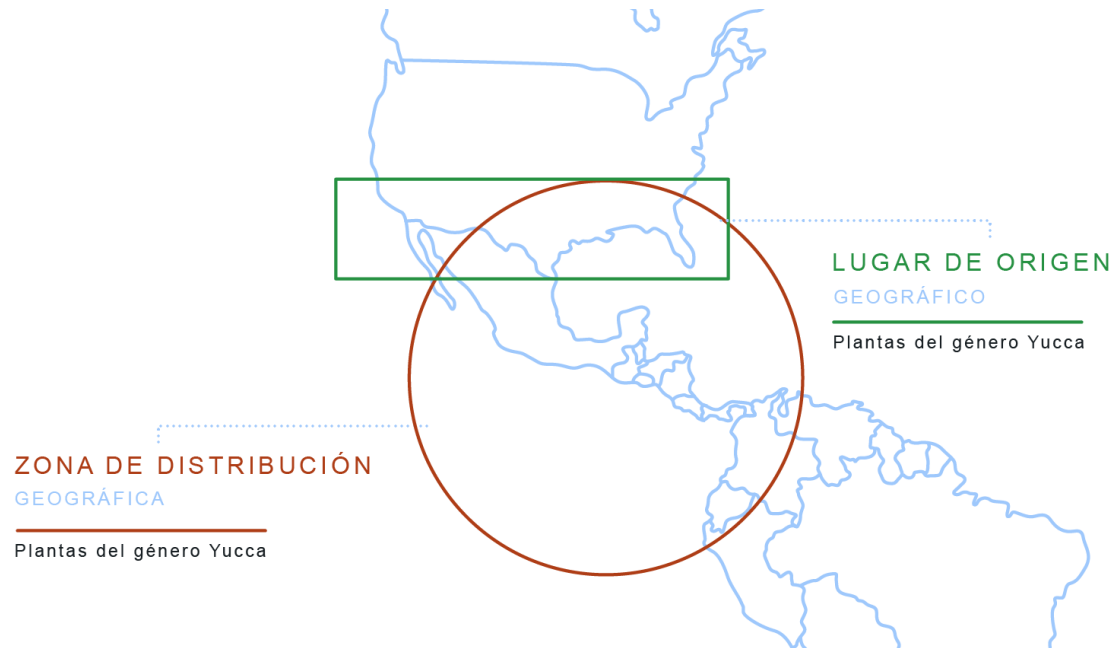
3.Resultados

a) Características de la planta

En la Figura 2, se muestra la distribución natural del itabo y su origen, tomando como referencia a Blanco & Campos (1991). En la Tabla 1, se encuentra el detalle de las características botánicas de la planta *Yucca elephantipes* (Patzan, 2020) y en la Figura 3, una fotografía de la planta y su floración como referencia.

Figura 2

Origen y distribución natural de *Yucca elephantipes*.

**Tabla 1**

Características botánicas de (*Yucca elephantipes*).

Reino	Vegetal
Subreino	Embriobionta
División	Magnoliofita
Clase	Liliósida
Subclase	Liliade
Orden	Asparagales
Familia	Asparagaceae
Género	Yucca
Especie	elephantipes
Nombre común	izote o Itabo

Fuente: Patzán, 2020.

Figura 3

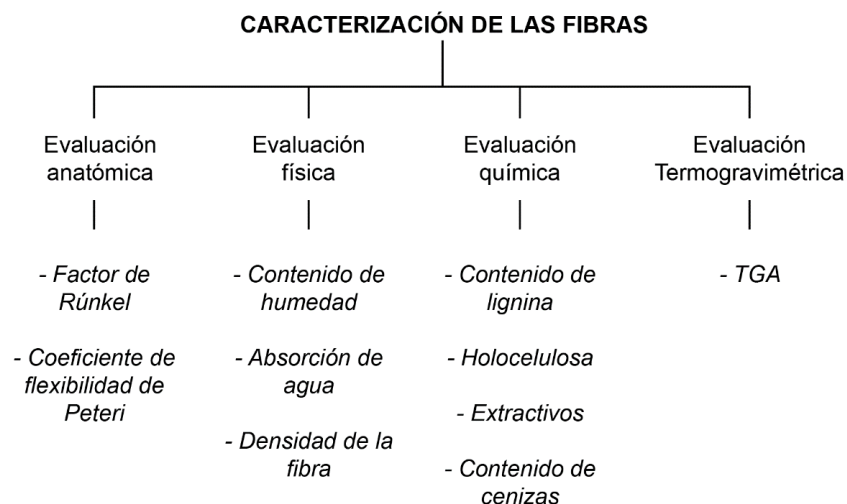
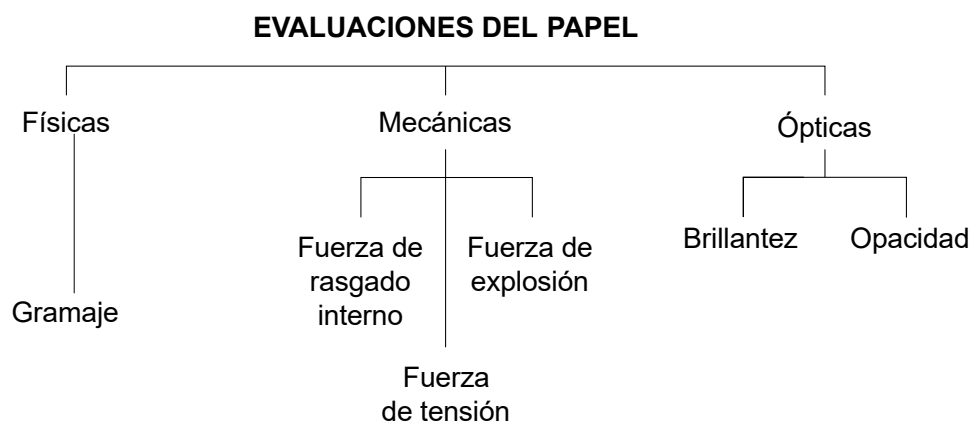
Fotografía de Yucca Elehantipe.



Fuente: Charles Wollertz, 2017.

b) Aspectos generales

Según Benitez et al. (2019) , la correcta elección del material a evaluar para obtener papel de calidad debe tomar en cuenta el análisis de (i) la materia prima fibrosa (especie, edad, composición química, tipo de elementos fibrosos, dimensiones de las fibras, otros), (ii) el pulpado y formación del papel (tipo de pulpado, rendimiento de la pulpa, composición química, dimensiones de las fibras, tamaño y composición del papel, espesor, tipo y grado del papel, otros), y (iii) las características ópticas (imagen, color, opacidad, transparencia, brillo, otros). Por ello, se investigaron las características anatómicas, físicas, químicas y termo gravimétricas de la fibra del itabo y las propiedades físicas, mecánicas y ópticas del papel a base del itabo (Figura 4), con el fin de comparar los resultados obtenidos en la bibliografía consultada con los valores obtenidos en otras fibras.

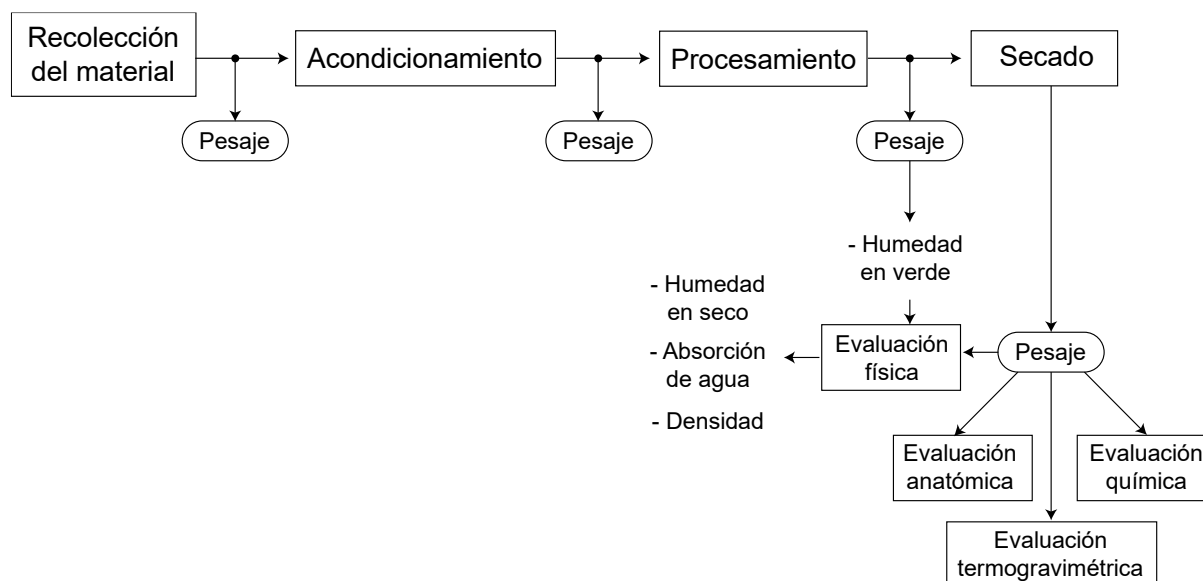
Figura 4*Variables para investigar.***Figura 5***Variables para investigar.*

Tras una exhaustiva búsqueda de información sobre la elaboración de papel a base del itabo, se evidencia la poca información e investigación que existe sobre esta planta y sus posibles usos como biomaterial. Es por ello, que las comparativas se realizaron en base a los estudios realizados por Blanco & Campos, en 1991 sobre el pulpeo de las hojas del itabo, Gutiérrez et al., en 1994 con la utilización de desechos agroindustriales en Costa Rica, y Gutiérrez & Blanco, en 1997, con la evaluación de los tallos de Itabo para la producción de pulpa para papel. Así mismo, se utilizó como referencia investigaciones realizadas con el mismo

propósito (obtención de pulpa para papel) con plantas de la misma familia (Asparagaceae), género (yucca) o plantas con fibras no maderables. También, se consideró las posibles metodologías para la obtención de los datos a tomar en cuenta, usando como referencia el estudio publicado en el 2022 por Valverde et al, el cual, utiliza parámetros específicos para la medición de cada variable (Figura 5).

Figura 6

Diagrama de caracterización de la fibra.



c) Acondicionamiento del material y propuesta de elaboración del papel

Para evitar errores en las evaluaciones, el correcto acondicionamiento del material es primordial. En el caso del itabo, se debe acondicionar la parte de la planta a utilizar; las hojas se raspan con una cuchilla para eliminar la parte externa y se les deben eliminar las puntas para evitar la presencia de manchas negras en la pulpa final. Posteriormente para el correcto procesamiento de la pulpa final, es necesario que las hojas se pasen por un desfibrador mecánico para obtener la fibra (Blanco & Campos, 1991).

A su vez, los tallos deben ser descascarados utilizando una cuchilla. Una vez descascarados, se deben colocar en la trituradora de madera para obtener las astillas de aproximadamente 2 cm de largo.

Para la fabricación de papel a base de materiales tanto leñosos como herbáceos es requerido extraer la lignina, la cual representa entre el 15% y 25% de la planta (Chávez-Sifontes & Domine, 2013). La función de este componente es cementar las fibras de madera para proporcionar rigidez de las mismas y actuar como barrera contra la degradación enzimática de la pared (Ortuño, 1994), lo cual, hace que, a mayor cantidad de lignina, mayor dureza tendrá el material. Por tanto, para obtener un papel de mejor calidad es requerido contar con un método que remueva eficientemente este componente.

Esta extracción se ha desarrollado utilizando diversas técnicas, dentro de las cuales se destacan primordialmente los métodos mecánicos, químicos o semiquímicos. El pulpeo mecánico corresponde a utilizar únicamente la energía mecánica para separar el material lignocelulósico, la pulpa semiquímica o semimecánica utiliza la energía química para ablandar el material seguido de un proceso mecánico, y por su parte, el pulpeo químico utiliza la energía química para para lograr la separación de la lignina (Rodríguez, 2006).

Dependiendo del tipo de papel que requiramos, así va a ser la metodología para la separación de la lignina y celulosa, ya que, por ejemplo, de los procesos mecánicos obtenemos una pureza de celulosa baja, del proceso semiquímico se obtiene un material poco robusto, pero más blando que el mecánico y con el proceso químico se obtiene una pulpa de alta calidad, aunque con un rendimiento mucho menor que las anteriores mencionadas (Rodríguez, 2006).

Según Ortuño (1994), el proceso químico es el que más se utiliza actualmente para la producción mundial de papel, el cual, puede ser con químicos ácidos o básicos según el pH del reactivo. Los primeros son más energéticos y producen un papel de mayor calidad, aunque con restricciones puesto a que, a pH bajos, los fenoles y los ácidos de las resinas se condensan con la lignina formando complejos insolubles y manchando la pasta, contrario a los métodos alcalinos. El pulpeo ácido se puede generar por medio del método al sulfito,

mientras que las pastas por métodos químicos básicos pueden ser con sosa cáustica y al sulfato. Estas dos últimas representan las principales técnicas de pulpeo, y se les conoce comúnmente como el proceso kraft y el método a la soda, los cuales, consumen soluciones de hidróxido de sodio (NaOH); en el caso del método kraft se agrega sulfito de sodio (Rushdan, 2002).

El método a la soda (NaOH) es el más antiguo y sencillo de todos, este consiste en una disolución de soda cáustica al 7 u 8%, que, con ayuda de temperatura, disuelve la lignina para dejar además de la pasta un líquido oscuro denominado lejía negra (lignina) (Ortuño, 1994). Este método se utiliza actualmente en maderas duras y fibras no maderables. El propósito es disolver las porciones no fibrosas de la materia prima y producir una pulpa con el grado de pureza de la celulosa necesario para su respectivo uso (Stephenson, 1950).

Los procesos de tratamiento de lignina alcalinos presentan ventaja debido a que se requiere menor energía para obtener la pulpa. A nivel mundial, la mayoría de las fábricas que utilizan fibras no maderables hacen uso de los procesos químicos como kraft, soda y sulfito, pero el método más usado a nivel comercial para pulpear especies no maderables sigue siendo el método a la soda (Environmental Defense Fund [EDF], 1996). Este proceso deja una mayor cantidad de carbohidratos insolubles en la pulpa y se obtiene mayor rendimiento que para el método kraft. Sin embargo, las propiedades de resistencia mecánica y el contenido de lignina son similares en las pulpas producidas por ambos métodos (EDF, 1996 & Saijonkari, 2001).

Según Abarca (2003), la mayoría de las investigaciones bajo el pulpeo a la soda en Costa Rica son realizadas con fibras no maderables. Por su parte, Blanco y Gutiérrez (1997) estudiaron el proceso a la soda con Caña India (*Dracaena massangeana*) y con Itabo (*Yucca elephantipes*), a una temperatura máxima de 160 °C, una concentración de hidróxido de sodio de un 10 %, un tiempo de cocción de 90 min y una relación sólido líquido 1:3. Obtuvieron un rendimiento másico del 51,8 % para la Caña India y del 74,7 % para el Itabo.

Tomando en cuenta que las propiedades mecánicas del papel obtenido varían con la cocción y el batido de pulpa, para estandarizar los métodos de obtención de pulpa y fabricación de

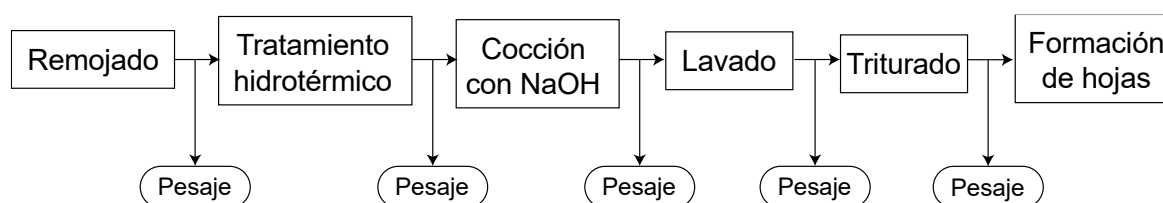
papel, se propone utilizar la metodología propuesta es una combinación de las expuestas por Gutiérrez & Blanco (1997), Blanco & Campos (1991), Benitez et al., (2019) y Jiménez et al., (2017).

Inicialmente se remojan en agua ambos materiales por 24 horas, para que, transcurrido ese tiempo, se someta cada material separadamente a un tratamiento hidrotérmico, el cual consiste en una cocción en agua a temperatura de ebullición durante 60 minutos, con la finalidad de suavizar el material y eliminar los solubles en agua caliente. Posteriormente se debe eliminar el exceso de agua colocando el material en una tela.

En el caso de utilizar el tallo del itabo, el material se debe cocinar durante tres horas en una olla de acero inoxidable en una solución al 10% de hidróxido de sodio batiendo constantemente, para el caso de las hojas, la solución debe estar al 1% de hidróxido de sodio. Transcurrido el tiempo, se coloca la pulpa en una bolsa de tela para lavar hasta eliminar el hidróxido de sodio. Posteriormente, se tritura el material con una batidora industrial para disminuir el tamaño de las fibras. La pulpa resultante se pasa por una tela para eliminar la mayor parte del agua y se debe reservar bajo refrigeración. Es importante tomar los pesos tras culminar cada una de las etapas para determinar los rendimientos del proceso. La formación de las hojas se realiza utilizando la metodología Tappi T 205 (Tappi, 2009) (Figura 6).

Figura 7

Diagrama de pulpeo y fabricación del papel



d) Caracterización de la fibra

Determinar las características de la fibra, así como las relaciones de las dimensiones de las fibras de diversas plantas como el itabo indicará si un material es apropiado para producir pulpa para papel de una determinada calidad (Tamarit, 1996).

d.1.) Evaluación anatómica

En la producción de papelería se utilizan diversas evaluaciones para determinar si un material es apto para producir pulpa; dos de ellas son el factor de Rúnkel y la relación de Peteri. El factor de Runkel representa la relación entre dos veces el grosor de las paredes de las fibras y el diámetro del lumen. A su vez, el coeficiente de flexibilidad de Peteri es un valor que se obtiene al dividir el largo promedio de las fibras entre el ancho total promedio de las mismas. Este valor nos da una idea de la flexibilidad relativa de la fibra durante la fabricación de papel. Entre más alta es esta cifra, más largas que ancha son las fibras, por lo tanto, menos flexibles (Cálix, 1970). En la Tabla 2 se encuentran los valores e interpretación del factor de Rúnkel.

Tabla 2

Valores e interpretación del factor de Rúnkel.

Valor	Interpretación	Grupo
<0.25	Excelente para papel	I R
De 0.25 a 0.50	Muy bueno para papel	II R
De 0.50 a 1.00	Bueno para papel	IIIR
De 1.00 a 2.00	Regular para papel	IVR
>2.00	Malo para papel	VR

Fuente: Cálix, 1970.

La determinación de los índices de calidad de las pulpas para papel se realiza bajo las siguientes ecuaciones (Tamarit, 1996).

Coeficiente de Peteri:

$$Cp = \frac{L}{D}$$

Donde:

L = longitud de la fibra

D = diámetro de la fibra

Relación de Runkel:

$$Rr = \frac{2w}{l}$$

Donde:

l = diámetro del lumen

2w = grosor de la pared de la fibra

Metodología propuesta

En el estudio realizado por Valverde et al (2022), con fibras de *musa textilis*, la metodología empleada para determinar el área y diámetro promedio de la fibra, el grosor promedio del lumen celular y el porcentaje de espacio libres dentro de las fibras, la cual, puede ser empleada para el estudio de las fibras de itabo fue la siguiente:

Se deben utilizar 5 fibras de aproximadamente 1 cm de longitud, las cuales se deben colocar en un microscopio de barrido electrónico (SEM). Cada fibra debe ser fotografiada con un aumento entre 300X y 400X en la cara trasversal de la fibra; en donde se determinarán las evaluaciones correspondientes (área y diámetro promedio de la fibra, grosor promedio del lumen celular y el porcentaje de espacio libres dentro de las fibras).

El procesamiento de las fibras y la determinación de estas variables se deben recopilar para determinar el factor de Rúnkel y el coeficiente de flexibilidad de Peteri.

Comparación anatómica

En el estudio realizado por Blanco & Campos (1991), se determinaron ambos valores para la fibra obtenida de las hojas de itabo, considerando el tiempo de batido y determinando para cada tiempo el Canadian Estándar Freeness (CSF) (Tabla 3).

Tabla 3*Freeness obtenido a tres tiempos de batido*

Freeness (CSF)	Tiempo de batido (minutos)
570	100
470	110
365	120

Fuente:(Blanco & Campos, 1991).

El freeness está diseñado para proporcionar una medida de la velocidad con la que la suspensión diluida de pulpa (3 gramos de pulpa en 1 L de agua) puede ser drenada. Este valor está relacionado con las condiciones de la superficie y el hinchamiento de las fibras, aunque hay que tomar en cuenta que el resultado dependerá de las condiciones bajo las que se lleva a cabo la prueba, por ejemplo, preparación de la pasta, temperatura y calidad de agua (Tabla 4). Esta evaluación se realiza con el instrumento denominado Canadian Estándar Freeness, el cual, se refiere a la determinación del freeness expresado en milímetros (Secretaría de Economía de los Estados Unidos Mexicanos, 2008).

Tabla 4*Características anatómicas de las fibras de las hojas del itabo*

Freeness (CSF)	365	470	570
Longitud promedio (μm)	1240	1664	1349
Longitud mínima (μm)	207	200	373
Longitud máxima (μm)	2480	3980	3867
Diámetro tangencial (μm)	14.2	15.4	14.5
Factor de Rúnkel	0.74	0.60	0.69
Coeficiente de Peteri	88	108	91

Fuente: Blanco & Campos, 1991.

Tomando como referencia de la Tabla 2 sobre el Factor de Rúnkel (página 19), se puede determinar que las hojas del itabo se clasifican en el grupo IIIR, por lo cual, se afirmar que

son buenas para la producción del papel para los tres tipos de CSF evaluados, siendo el freeness de 470 ml el más apto para este rubro.

Con respecto al coeficiente de Peteri, se obtuvo que el mejor valor fue dado por el CSF de 365 ml, ya que es el valor más bajo y que para el caso del papel es favorable, ya que la fibra tendrá mayor flexibilidad.

Aun así, al comparar estos resultados, se evidencia que, aunque el CSF de 470 ml ofrece el mejor valor para el factor de Rúnkel, su coeficiente de Peteri es elevado, por lo que, una de las opciones a considerar, es realizar las pruebas con valores medios, escogiendo el valor de CFS de 570 ml, a un tiempo de batido de 100 minutos para el caso del procesamiento de las fibras de las hojas de itabo.

Para el caso del procesamiento del tallo del itabo para la producción de pulpa para papel, Gutiérrez et al. (1994) obtuvieron los valores mostrados en el Tabla 5.

Tabla 5

Características anatómicas de las fibras de las hojas del itabo

Evaluación	Valor
Factor de rúnkel	1.8
Coeficiente de Peteri	78

Fuente: Gutiérrez et al., 1994.

En este estudio, es importante destacar que la metodología de extracción de lignina consistió en una etapa mecánica de macerado y luego en la solución Jeffrey (ácido nítrico y dicromato de sodio al 10%), por tanto, se dificulta comparar los resultados con los obtenidos por Blanco & Campos, en 1991 para las hojas del itabo. Aun así, los valores muestran que, para esta metodología, el factor de rúnkel se sitúa en el grupo IVR, por lo que se clasifica como regular para la producción de papel. En el caso del coeficiente de Peteri, se obtuvieron valores más favorables en comparación con las hojas del itabo, por lo cual, se deduce que las fibras del

tallos tienen mayor flexibilidad que las fibras obtenidas de las hojas, bajo métodos de extracción de lignina diferentes.

En este mismo estudio, se evaluaron diversos residuos agroindustriales para la producción de papel, dentro de los cuales, la corona de la piña demostró el número menor para Factor de Rúnkel (grupo IIIR, bueno para papel), situándolo en el mismo grupo que la fibra de hojas de itabo obtenido por Blanco & Campos (1991). Asimismo, Gutierrez y Blanco (1997), en su estudio sobre la evaluación de los tallos de caña india e itabo para la producción de pulpa para papel, mencionan que los coeficientes de flexibilidad para la pulpa obtenida en estas dos plantas denotan colapso parcial, con buena superficie de contacto y buena posibilidad de unión entre fibras, además que, también las clasifican en el Grupo III correspondiente a las fibras con buena calidad para la producción de papel.

d.2.) Evaluación física

Otra de las características a evaluar para determinar el potencial de un material para realizar pulpa para papel es el contenido de humedad, ya que, de tener un alto contenido de humedad provocaría una alta contracción volumétrica, de alrededor de 40%, lo que disminuye la calidad del papel y el rendimiento. Es importante resaltar que las fibras de plantas herbáceas contienen una gran cantidad de agua si se les compara con las especies maderables (Gutiérrez et al., 1994), pero para el caso de la industria del papel, altos contenidos de humedad indican alta presencia de agua y menos de fibra, que es lo que menos interesa en la industria (González et al., 2016).

De igual manera, las características del papel final dependen de las propiedades de la pulpa empleada, el tipo de fibra utilizar, además del proceso seleccionado para la obtención de la pulpa (Gutiérrez et al., 1994). Por su parte, conocer la absorción de agua determinará qué tipo de papel es posible producir con cierta materia prima y cuales métodos de impresión son ideales para cada uno. Se debe tomar en cuenta que una alta capacidad de absorción de agua provoca inestabilidad en el papel, debido a que se relaciona con mayor contenido de tejido parenquimático de las plantas, lo cual, es un punto de ataque de organismos biodegradadores, pudiendo provocar suciedad del papel (Gutiérrez & Blanco, 1997).

La influencia de la densidad en la calidad de la pulpa es otro factor determinante, ya que bajas densidades están asociadas a las mejores calidades de papel. Con ello, a menor densidad, aumenta la calidad de pulpa para la producción de papel (Tamarit, 1996).

Metodología propuesta

En el estudio realizado por Valverde et al (2022), con fibras de *musa textilis*, la metodología empleada para determinar el contenido de humedad de las hojas o del tallo en condición verde y posterior al secado, consiste en colocar 3 gramos de material en un analizador de humedad (definir las repeticiones).

Para determinar la absorción de agua de la fibra se pueden utilizar tres muestras de hojas y tres de tallo de 2 g cada una. Estas muestras se deben secar a 105 °C por 72 horas, y se deben pesar y posteriormente colocar en recipientes con agua destilada para tomar su peso cada 24 horas por 10 días. Esta metodología basada en la norma ASTM D570-89 (ASTM, 2021). La densidad de la fibra se puede obtener utilizando la norma ASTM C128-15 (ASTM, 2021).

Comparación física

En el estudio desarrollado por Blanco & Campos (1991) con las fibras obtenidas de las hojas del itabo, se obtuvo un porcentaje de humedad (en base húmeda) del 48,4%. Para este mismo estudio, se obtuvo una densidad aparente de 0.459 (para un CSF de 365), 0.417 (para CSF de 470) y 0.280 (en el caso de CSF de 570). No se reportaron valores para la absorción de agua.

Gutiérrez et al. (1994) determinaron que la humedad obtenida de la pulpa obtenida de los tallos del itabo fue del 83% en base húmeda. No se evaluó la densidad ni el valor de absorción de agua.

Por su parte, Gutiérrez & Blanco (1997), obtuvieron un valor promedio del 83% en base húmeda para los tallos del itabo, además, determinaron su peso específico promedio, el cual fue del 0.44 y su densidad verde y seca, obteniendo un valor de 1.108 y 0.624 respectivamente. No se reportó valor para absorción de agua.

Con estos valores, se puede notar que las hojas de itabo contienen menor cantidad de humedad que el tallo, además, que la densidad de las fibras del tallo del itabo es mayor que la fibra de las hojas. Como se mencionó anteriormente, el potencial de un material para realizar pulpa para papel puede ser determinado por el contenido de humedad, ya que, un alto contenido de humedad provocaría una alta contracción volumétrica, de alrededor de 40%, lo que disminuye la calidad del papel y el rendimiento. Esto se evidencia en el estudio de Gutiérrez & Blanco (1997), donde el valor de contracción volumétrica para el itabo fue del 38%.

En ninguno de las investigaciones consultadas sobre la producción de papel a base de itabo se encontraron valores para absorción de agua.

d.3.) Evaluación química

Determinar del contenido de lignina, holocelulosa, extractivos, extraíbles y contenido de cenizas de la pulpa ayuda a comparar la capacidad de un material para producir papel con las características adecuadas al mercado. Ahora bien, en el caso de la evaluación del papel, características como la humedad, gramaje, calibre, dureza de rasgado interno, fuerza de explosión, fuerza de tensión, opacidad y brillantez son determinantes para conocer su calidad y su uso potencial.

Las pulpas de alto valor comercial con buenas propiedades para la fabricación de papeles requieren bajo contenido lignina, por tanto, los materiales deben ser sometidos a métodos de pulpeo que permitan eliminar la mayor cantidad de esta sin provocar una degradación significativa de la cantidad de celulosa (Gutiérrez et al., 1994). Una de las técnicas para eliminar este compuesto de los materiales no leñosos que se ha utilizado desde 1853 es la fabricación de pasta por el proceso NaOH (Chávez-Sifontes & Domine, 2013).

Así mismo, una mayor proporción de celulosa aumenta la calidad con rendimientos mayores. Con respecto a la hemicelulosa, un alto contenido contribuye a la resistencia a la tensión,

explosión y doblez de la hoja, aunque para un tipo específico de papel, existe a menudo un contenido óptimo de hemicelulosas (Tamarit, 1996).

Tomando como referencia el porcentaje de solubilidad en agua caliente y fría de la pulpa, este influye en su proceso productivo, ya que hay materias primas que se deshacen y facilitan la preparación de la pulpa, como hay residuos en los que hay necesidad de aplicar calor y si este no es suficiente se emplean procesos mecánicos y químicos para deshacer la fibra (González et al., 2016).

Conocer el contenido de cenizas dará otro parámetro para evaluar la calidad de la pulpa, ya que, aunque las plantas no maderables generalmente poseen un alto contenido de cenizas, el material que se utilice para la fabricación de pulpa debe tener lo mínimo posible, de lo contrario, provocaría un desgaste en las piezas metálicas de los equipos de impresión y duplicación (Gutiérrez & Blanco, 1997).

Metodología propuesta

Para la evaluación química, se envían al laboratorio tres muestras para determinar el contenido de lignina mediante la prueba T222 om-02 (Tappi 2009), holocelulosa con la prueba de Seifert (1960), extractivos en agua caliente y agua fría por medio de la prueba ASTM D1110 84 (ASTM, 2007) y contenido de cenizas con ASTM D1102-84 (ASTM, 2021).

Comparación química

Blanco & Campos (1991), mencionan que la pulpa realizada a partir de las hojas de itabo contiene un porcentaje de cenizas (%BS) del 4,94%, mientras que un valor de extractivos (%BS) del 29,8%. En este estudio no se reportaron resultados del contenido de lignina ni celulosa.

A su vez, Gutiérrez et al. (1994), determinaron que la pulpa a partir del tallo del itabo contenía un porcentaje del 3.4% de cenizas, 19.6% de contenido de lignina, 54.5% de holocelulosa y

22.5% de extractivos totales (todos los valores en %BS). Gutiérrez & Blanco (1997) utilizaron estos valores bibliográficos anteriormente mencionados para su estudio.

En la producción de papel, los altos porcentajes de holocelulosa son esenciales para generar productos de mayor calidad y reducir el uso de productos químicos para la degradación de la lignina (Moreno & Protacio, 2012). En el caso del itabo, se evidencia un alto porcentaje de holocelulosa, que a su vez supone una menor cantidad de químicos para su procesamiento; así mismo, se denota un bajo contenido de lignina. Los extractivos son relevantes porque afectan a la adaptabilidad de la fibra para ser combinada con materiales sintéticos u otras fibras naturales (del Río & Gutiérrez, 2006). Para el caso de ambos estudios citados, tienen un porcentaje similar de extractivos, aun cuando la parte de la planta empleada es diferente, lo que demuestra que el uso de la fibra debe tener una respuesta diferente en función del material utilizado. Moreno y Protacio (2012) mencionan que las fibras con baja cantidad de extractivos simplifican la transformación y adaptabilidad para reforzar biomateriales de uso estructural.

Para el caso del contenido de cenizas, ambas partes de la planta (tallo y hojas) mostraron valores similares. Comparándolas con el estudio de Jiménez et al. (2016) los valores presentados son más bajos, ya que en este estudio se evaluó la caracterización fisicoquímica de cuatro especies de Agaves con potencialidad en la obtención de pulpa de celulosa para elaboración de papel y se obtuvo un promedio de 11.35% de cenizas. En la Tabla 6, se muestran los valores de contenidos de cenizas obtenidos por Saijonkari-Pahkala, en el 2001 para diferentes plantas.

Tabla 6

Contenido de cenizas (%BS) de diferentes plantas no maderables

Planta	Contenido de cenizas (%BS)
<i>Phalaris arundinacea</i>	8.76
<i>Festuca pratensis</i>	7.62
<i>Galega officinalis</i>	8.94

<i>Cannabis sativa</i>	3.75
<i>Brassica rapa</i>	6.10

Fuente: Saijonkari-Pahkala, 2001.

Aun cuando las plantas no maderables generalmente poseen un alto contenido de cenizas, en el caso del itabo s evidencia que presenta un valor menor a otras fibras.

d.4.) Evaluación termo gravimétrica

El análisis termogravimétrico (TGA) es una técnica comúnmente utilizada para estudiar las reacciones de descomposición de la lignina, celulosa y hemicelulosa, para así, determinar la volatilización, parámetros cinéticos, influencia de la temperatura y velocidad de calentamiento en el desarrollo de las reacciones de descomposición térmica y los mecanismos de reacción (Manals-Cutiño et al., 2011). Su determinación ayuda a conocer la descomposición térmica, teniendo dos regímenes; la zona de descomposición a la menor temperatura (alrededor de 300 °C) asociada con la pirolisis de la hemicelulosa y la zona a alta temperatura (200–600 °C) realacionada con la celulosa (Meszáros et al., 2004; Müller-Hagedorn et al., 2003)

El análisis termogravimétrico (TGA) es un análisis térmico en el que se registra continuamente la masa de una sustancia o material en función de la temperatura o del tiempo en el que la muestra es sometida a un programa de temperaturas controladas en una atmósfera controlada. Este registro se representa gráficamente en un termograma o en una curva de descomposición térmica (Arévalo, 2020).

Metodología propuesta

El análisis termogravimétrico (TGA) se puede llevar a cabo utilizando 7.5 g de fibra de cada material al 12% de humedad según la norma ASTM E2105 – 00 (ASTM, 2016). Se coloca el material en un analizador de SDT con un flujo de gas de 100 ml min⁻¹ y una escala calorimétrica de 20 a 800 °C con una rampa de calentamiento de 20°C min⁻¹, en una atmósfera constante de 100 ml min⁻¹ de nitrógeno.

Comparación termogravimétrica

Para ninguno de los estudios analizados sobre la utilización del itabo para la producción de papel se realizó esta evaluación, por lo que, no existe un marco para comparar los resultados. Aun así, se puede mencionar como referencia el estudio de Salvador et al. (2017), donde se menciona que, para las fibras naturales de lino, algodón, cáñamo y kenaf, la temperatura crítica de degradación es de 320-350 °C.

Además, Yang et al. (2005), indican que los materiales lignocelulósicos se descomponen térmicamente entre 150-500 °C, especialmente las hemicelulosas, que se degradan entre 150-350 °C, la celulosa entre 275-350 °C, y la lignina a una temperatura entre 250-500 °C.

e) Propiedades del papel

En términos de papel, la pulpa es de calidad aceptable cuando presenta elevada densidad, gran resistencia a la fuerza de tensión, de explosión y de rasgado, así como al paso del agua y del aire, lo mismo que buenas propiedades para la escritura e impresión (Tamarit, 1996). Así mismo, las dimensiones de las fibras tienen una gran influencia sobre la resistencia mecánica de la pulpa y el papel (Benitez et al., 2019).

En un estudio realizado por Iñiguez-Covarrubias et al. (2001), se muestra las hojas de una planta de la misma familia botánica que el itabo tiene el potencial de elaborar hojas de papel, sin embargo, presentan un bajo índice de rasgado y bajo índice de explosión comparadas con las hojas de papel elaboradas a partir de especies maderables. Por su parte, Gutiérrez & Blanco, (1997) mencionan que las hojas obtenidas del tallo del itabo presentan una baja densidad aparente, altísima opacidad y baja brillantez, baja resistencia a la explosión, mediana resistencia a la tracción y al rasgado, pero que estas características dependen del proceso químico que se utilice.

También es importante mencionar las principales variables de trabajo durante el proceso de pulpeo (aplicables a fibras no maderables) (Stephenson, 1950):

1. Especie y calidad de la materia prima
2. Tiempo de cocción

3. Temperatura de cocción
 4. Relación de los productos químicos
 5. Concentración de los reactivos en el licor
-
1. *Especie y calidad de la materia prima:* la longitud de las fibras, así como en el contenido de celulosa, pentosas y lignina, resultará en una variación en cuanto a las propiedades de la pulpa obtenida. Así mismo, las materias de diferentes densidades requieren distintos tratamientos de cocción.
 2. *Tiempo de cocción:* El tiempo de cocción está relacionado con otras variables, tales como la temperatura, la cantidad y la concentración del licor. Un aumento en una o más de estas variables, disminuirá el tiempo para obtener pulpa con el mismo rendimiento y calidad.
 3. *Temperatura de cocción:* La temperatura y el tiempo de cocción son variables dependientes: entre más alta sea la temperatura, menor será el tiempo de digestión. Una temperatura por debajo de los 170 °C aparentemente no aporta ninguna ventaja ni en el rendimiento ni en la calidad de la pulpa obtenida. Por encima de los 180 °C, la celulosa es muy susceptible a degradarse, particularmente a una temperatura de 200 °C.
 4. *Relación de los productos químicos a la materia prima:* La relación entre los productos químicos y las astillas que se agreguen al reactor debe mantenerse por encima de un mínimo determinado, con el fin de producir pulpa mediante la eliminación de suficiente lignina para separar las fibras.
 5. *Concentración de los reactivos en el licor:* La concentración de los reactivos en el licor de cocción está estrechamente relacionada con la relación de los productos químicos a la madera; la velocidad de la reacción química está determinada por la concentración de los reactivos de cocción.

Comparación física del papel

En la Tabla 7 se observan los valores obtenidos por Blanco y Campos (1991) para el gramaje del papel obtenido de las hojas del itabo, los cuales se evaluaron bajo 3 tiempos y 3 valores de Freeness. En la Tabla 8 los obtenidos por Gutiérrez & Blanco (1997) sobre los tallos del itabo, con cuatro tipos de pulpeo.

Tabla 7

Características físicas del papel obtenido de las hojas del itabo

Evaluación/freeness	365	470	570
Gramaje	59.7	59.2	60.5

Fuente: Blanco & Campos, 1991.

Tabla 8

Gramaje del papel obtenido de los tallos del itabo

Pulpeo	g/m²
Sulfato	63.8
Monosulfito alcalino	77.2
NaOH	58.6

Fuente: Gutiérrez & Blanco, 1997.

El gramaje se define como la masa del papel por unidad de superficie y se expresa en gramos por metro cuadrado (g/m²). Hasta un gramaje de 119 g/m² se habla de papeles, desde 120 g/m² de cartulinas y desde 300 g/m² a cartones. Por regla general, cuanto mayor es el gramaje de un papel, mayor será su grosor (Chiluiza & Hernández, 2009). Comúnmente, esta evaluación se realiza bajo el estándar TAPPI T-410 om 19 (Tappi, 2008).

Por tanto, los resultados mostrados en la Tabla 7 y 8 se puede analizar que todos los valores son menores a 119 g/m², por lo que entran dentro de la categoría de papel. Si se requiere obtener un papel más liviano, se puede optar por realizar papel a partir de las hojas de itabo, y si, por el contrario, si se desea un papel más robusto, es posible utilizar el tallo. Así mismo, se muestra que el tipo de pulpeo y el freeness influirá en el gramaje del papel, siendo, el

método de Monosulfito alcalino y el freeness de 570 las variables que presentaron un valor mayor para gramaje.

Para evaluar las propiedades físicas del papel más rigurosamente, se puede determinar la humedad de las hojas utilizando el estándar ASTM D-644-76 (ASTM, 2021) y el calibre bajo la regla TAPPI T 411 om 89 (Tappi, 2015) y con ello, obtener más información sobre la calidad del material final. Es importante mencionar que, para los estudios investigados, no se encontraron valores para estas evaluaciones.

Comparación mecánica del papel

Para determinar las características mecánicas, se evalúan la fuerza de rasgado, fuerza de tensión y fuerza de explosión. La fuerza de rasgado interno se evalúa utilizando la norma TAPPI T414 ts 65 (Tappi, 2021), la fuerza de explosión bajo TAPPI T-403 os 76 (Tappi, 2021) y la fuerza de tensión TAPPI T-494 om 81 (Tappi, 2006).

Al determinar la fuerza de rasgado, se mide la fuerza perpendicular al plano del papel necesaria para rasgar múltiples capas a través de una distancia especificada después de iniciar el rasgado, utilizando un probador de rasgado tipo Elmendorf. Los resultados medidos pueden utilizarse para calcular la resistencia al rasgado aproximada de una sola hoja (Tappi, 2021).

La fuerza que resiste una probeta de papel de medidas normalizadas antes de su rotura, debido al esfuerzo provocado por la aplicación de dos fuerzas que actúan en sentido opuesto, es denominada fuerza de tensión. Esta propiedad indica la durabilidad y potencial para el desempeño en el uso final de papeles. Es importante recalcar que, para realizar esta determinación, se deben cortar partes en ambas direcciones del papel: transversal y en contra del sentido de la máquina. Generalmente, las probetas paralelas al sentido de la máquina presentan mayor resistencia a la tensión que las que se cortan paralelas al sentido transversal (Chiluiza & Hernández, 2009).

Para conocer la fuerza de explosión se utiliza el medidor de Mullen el cual, mide la resistencia que ofrece el papel a la rotura por presión en una de sus caras. La presión puntual, creciente y controlada es ejercida por un diafragma de área circular hasta el punto en que el material termina por explotar (Chiluiza & Hernández, 2009). Este parámetro es muy importante, ya que indica la resistencia del papel y la cohesión de las fibras que lo constituyen. Representa cuánta presión puede soportar el papel antes de romperse, es particularmente importante para papeles destinados a la manufactura de bolsas (García et al. 2021).

En la tabla 9 se muestran los valores de factor de explosión, factor de rasgado y fuerza de tensión obtenidos por Blanco & Campos (1991), en su prueba con papel obtenido de las hojas del itabo bajo 3 tiempos y 3 freeness. En la tabla 10, se muestran los valores obtenidos por Gutiérrez & Campos (1997) para las mismas evaluaciones, tomando en consideración 3 tipos de pulpeos.

Tabla 9

Características mecánicas del papel obtenido de las hojas del itabo

Evaluación/freeness	365	470	570
Factor de explosión (kN/ g)	3.5	3.1	1.8
Factor de rasgado (mNm ² /g)	9.97	8.95	7.65
Índice de tensión (Nm/g)	39.6	36.5	26

Fuente: Blanco & Campos, 1991.

Tabla 10

Características mecánicas del papel obtenido de los tallos del itabo

Factor/ Pulpeo	Sulfato	Monosulfito alcalino	NaOH
Factor de explosión (Kg/ m ³)	2.2	1.2	3.4
Factor de rasgado (mNm ² /g)	10.1	5.6	9.8
Índice de tensión (Nm/g)	48.5	37.8	57.4

Fuente: Gutiérrez & Blanco, 1997.

Los valores presentados para la evaluación mecánica (factor de rasgado e índice de explosión), en ambos estudios fueron menores a los que se obtienen de las fibras maderables (EDF, 1996). Aun así, esto no refiere a baja calidad en fibras, si no, al tipo de papel que se podría realizar con este tipo de fibra. Blanco & Campos (1991) proponen que la fibra de itabo puede ser utilizada para la producción de fibra absorbente, y si se mezcla con pulpas de fibra larga se pueden obtener otros tipos de papeles, para con ello, mejorar las propiedades mecánicas. Para el índice de rasgado, los valores obtenidos con el pulpeo del itabo por el método del sulfato, son similares a los obtenidos por materias primas maderables, como el eucalipto, melina o pino.

Así mismo, se evidencia que los valores para factor de explosión varían con respecto a la parte de la planta a utilizar y el tipo de pulpeo. El factor de rasgado tiene menores variaciones entre la parte de la planta utilizada y el tipo de pulpeo, aunque en el caso del pulpeo realizado con monosulfito alcalino, el valor bajó considerablemente. De igual manera, se presenta la misma situación con el índice de tensión, aunque en este caso, el valor más bajo fue presentado por el freeness de 570.

Comparación óptica del papel

Para evaluar la opacidad y brillantez de las hojas se puede utilizar la norma TAPPI T 452 om 71 (Tappi, 2021) y TAPPI T425 om 81 (TAPPI, 2006) respectivamente.

En la tabla 11 se muestran las características ópticas del papel obtenido de las hojas del itabo basados en el estudio de Blanco & Campos (1991) y en la tabla 12, en base a Gutiérrez & Blanco, (1997).

Tabla 11

Características ópticas del papel obtenido de las hojas del itabo

Evaluación/freeness	365	470	570
Brillantez	22	23	23
Opacidad	100	99	95

Fuente: Blanco & Campos, 1991.

Tabla 12*Características ópticas del papel obtenido de los tallos del itabo*

Factor/ Pulpeo	Sulfato	Monosulfito alcalino	NaOH
Brillantez	34.8	40.6	18.7
Opacidad	94.4	94.4	97.4

Fuente: Gutiérrez & Blanco, 1997.

Para ambos estudios, se demuestra que el papel realizado con hojas de itabo tiene una baja brillantez y un porcentaje de opacidad bastante alto, para los tres freeness. En el caso del papel realizado con el tallo, la brillantez aumenta considerablemente dependiendo del método de pulpeo, ya que, en el caso de NaOH, el valor fue inclusive más bajo que el obtenido con hojas de itabo, y utilizando Monosulfito alcalino aumenta inclusive el doble del valor de NaOH.

Se hace importante mencionar que, la brillantez siempre será menor a los obtenidos en papeles comerciales, ya que los métodos de extracción de lignina y la tecnificación de los procesos para la formación de hojas es menor (rústica). En el caso de la opacidad, para ambos casos evaluados, el valor es bastante alto y podría compararse con las hojas comerciales.

4. Conclusiones

- Las fibras del itabo se pueden clasificar en base al factor de rúnkel como buenas para la producción de papel, además, el valor del factor de Peteri indica que la fibra tendrá mayor flexibilidad y una buena superficie de contacto, por tanto, una buena unión fibra-fibra. Aunque tanto el tallo como las hojas de itabo presentan buenas características anatómicas, se determina que, las hojas tienen mejores características físicas como menor contenido de humedad (lo que disminuye la contracción volumétrica y mejora eventualmente los rendimientos finales) y menor densidad. Los contenidos de lignina y holocelulosa se ubican dentro de los rangos aceptables para producción de papel. Con respecto al contenido de cenizas, ambas partes de la planta

presentaron porcentajes mayores a los de las maderas comerciales, aun así, fueron menores que otras especies no maderables.

- Las propiedades del papel a base de tallo y hojas de itabo muestran valores favorables para la producción artesanal. Su gramaje es menor a 119 g/m², por lo que entran dentro de la categoría de papel, aunque se puede aumentar el gramaje según el requerimiento. Las propiedades mecánicas son menores a las obtenidas con fibras maderables, más estas pueden ser mejoradas considerablemente si se escoge correctamente el método de pulpeo, el freeness y la parte de la planta a utilizar. En el caso de los valores investigados para este estudio, se determina que una buena combinación, que podría arrojar mejores propiedades mecánicas es un freeness de 365 o 470 con el pulpeo al NaOH. Aunque la opacidad de las hojas es bastante alta, su brillantez es bastante bajo, factor que podría mejorarse al utilizar algún tipo de blanqueo en la pulpa.
- Las fibras obtenidas a partir del itabo tienen el potencial para producir papel artesanal, el cual, difiere del papel producido comercialmente inicialmente por los métodos de producción y características propias de la planta como composición química y mecánica del papel obtenido. Aun así, su potencial se puede aprovechar para el desarrollo de papel.

5.Recomendaciones

- Aunque existe bibliografía con información para conocer detalles importantes de la producción de papel a base del itabo, es importante hacer las evaluaciones de laboratorio para obtener valores que probablemente en estos estudios no se consideraron por falta de equipo, conocimiento o costos, como por ejemplo la absorción de agua de las fibras, la humedad de las hojas y su el calibre.
- En ninguno de los estudios consultados se tuvo un tratamiento testigo, el cual, podría ser representado por el pulpeo 100% mecánico, para con ello, poder tener una comparación de los cambios que sufre la pulpa sin químicos (utilizando

principalmente el calor y la energía mecánica para el ablandamiento de las fibras y la remoción de lignina).

- Para poder comparar el material a obtener con las fibras maderables, es necesario considerar factores de rendimiento y costos de producción para todos los casos, así como es importante tener un estudio del posible suministro de materia prima, lo cual, en el caso del itabo, podría representar tanto un posible negocio, ya que, en este momento, Costa Rica no cuenta con plantaciones comerciales para su aprovechamiento.

6. Bibliografía

Abarca, R. (2003). Caracterización de Tectona grandis de plantación y evaluación del uso potencial de la pulpa y la lignina obtenidas. Memoria para optar al Título de Ingeniero Químico, Escuela de Ingeniería Química, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

Altesor, Alice., Eguren, Gabriela., Mazzeo, Nestor., Panario, Daniel. & Rodríguez, Claudia. (2008). La industria de la celulosa y sus efectos: certezas e incertidumbres.

Arévalo Hernández, A. (2020). Validación del análisis termogravimétrico (TGA) como método alternativo para la determinación del porcentaje de humedad en la sal yodada y almidón de maíz. [Tesis de grado, Escuela de Ingeniería Química, Universidad San Carlos, Guatemala].

<http://www.repositorio.usac.edu.gt/15328/1/Astrid%20Alejandra%20Ar%C3%A9valo%20Hern%C3%A1ndez..pdf>

ASTM INTERNATIONAL. (2007). Standard Test Method for Water Solubility of Wood (Norma D1110-84). <https://www.astm.org/Standard/alpha-lists/D.html>

ASTM INTERNATIONAL. (2021). (Norma D-644-76).

<https://www.astm.org/Standard/alpha-lists/D.html>

ASTM INTERNATIONAL. (2021). Standard Test Method for Ash in Wood (Norma D1102-

84). <https://www.astm.org/Standard/alpha-lists/D.html>

ASTM INTERNATIONAL. (2021). Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate (Norma C128-15).

<https://www.astm.org/Standards/C128.htm>

ASTM INTERNATIONAL. (2021). Standard Test Method for Water Absorption of Plastics (Norma D570-98). <https://www.astm.org/Standard/alpha-lists/D.html>

Benitez, Julieta., Popo, Manuel., Vallejos, María. & Area, María. (2019). Calidad de papel artesanal a partir de fibras no convencionales de cinco especies colombianas. Revista de Ciencia y Tecnología: RECyT. (31), 28-35. ISSN 0329-8922.

Blanco, L & Campos, R. (1991). Pulpeo de hojas de Itabo (*Yucca elephantipes*. Regel) creciendo en Costa Rica. Ingeniería, 1(2), 31-35. 10.15517/RING.V1I2.7577

Cálix, R. (1970). Identificación dendrológica y anatómica de 37 especies arbóreas de Honduras [Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza]. Repositorio Biblioteca.orton.

<https://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/2318>

Casey, J. P. (1991). Pulpa y papel. Química y tecnología química. México: México.

Chávez-Sifontes, M. & Domine, M. (2013). Lignina, estructura y aplicaciones: métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial.

Avances en Ciencias e Ingeniería, 4(4), 15-46.

<https://www.redalyc.org/pdf/3236/323629266003.pdf>

- Chiluiza, C. & Hernández, J. 2009. ELABORACIÓN DE PAPEL ARTESANAL DE CAÑA GUADUA (*Guadua angustifolia* K). [Tesis de maestría, Facultad de ingeniería química y agroindustria, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1901/1/CD-2457.pdf>
- del Río, J.C.; Gutiérrez, A. (2006) Chemical composition of abaca (*Musa textilis*) leaf fibers used for manufacturing of high quality paper pulps. *J. Agric. Food Chem.* (54) 4600–4610.
- Environmental Defense Fund [EDF]. (1996). Nonwood plant fibers as alternative fiber sources for papermaking. Paper Task Force, 13. https://s3.amazonaws.com/EPNPaperCalc/documents/1634_WP13.pdf
- Erdos, J. & Alvarado, J. (s.f.). Ensayos sobre el izote (*yucca elephantipes* regel) como materia prima para la obtencion de celulosa. <http://repositorio.fciencias.unam.mx:8080/jspui/bitstream/11154/142670/1/21VEnsayosIzote.pdf>
- Franco, J. (1989, Junio). Itabo: suelos, sistemas de siembra y tipos de semillas [boletín n.º 6]. Boletín informativo de plantas ornamentales. <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=CIAGRO.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=021382>
- García-Berfo, L., Armijos-Riofrio, C., Aguilar-Ramírez, S., López-Cordova, C., Ramírez-Robles J., Calva-Luzon, C. & Pogo-Tacuri, E. (2021). Estudio de especies no leñosas de la provincia de Loja (Ecuador) como potenciales materias primas para la fabricación de papel artesanal. *Ingeniería, investigación y tecnología.* (22),
- Gilman, E. & Watson, D. (1993). *Yucca elephantipes: Spineless Yucca*. University of Florida. <https://edis.ifas.ufl.edu/pdf/ST/ST67500.pdf>

- Gómez Luna, Eduardo., Fernando Navas, Diego., Aponte Mayor, Guillermo. & Betancourt Buitrago, Luis Andrés. (2014). Metodología para la revisión bibliográfica y la gestión de información de temas científicos, a través de su estructuración y sistematización. Dyna, Universidad Nacional de Colombia (81), 158-163. ISSN: 0012-735.
- González, A. & Álvarez, C. (2019). Utilización de residuos de la industria agroalimentaria para el desarrollo de biomateriales. En *Desarrollo Sostenible en la Producción Agroalimentaria* (pp. 227-248). Universidad Federal de Santa Catarina.
- González, K., Daza, D., Caballero, P. & Martínez, C. (2016). Valuación de las propiedades físicas y químicas de residuos sólidos orgánicos a emplearse en la elaboración de papel. *Revista Luna Azul*, 43, 499-517.
<https://www.redalyc.org/pdf/3217/321745921021.pdf>
- Gutiérrez, J. & Blanco, L. (1997). Evaluación de los tallos de caña india (*Dracaena massangeana*) e itabo (*Yucca elephantipes*) para la producción de pulpa para papel. Instituto de investigaciones en ingeniería, Universidad de Costa Rica.
- Gutiérrez, J., Carpio, I. & Alpízar, L. (1994). Utilización de desechos agroindustriales fibrosos en Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 42(2), 65-71.
<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/28694>
- Gutiérrez, J., Carpio, I. & Alpízar, L. (1994). Utilización de desechos agroindustriales fibrosos en Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 42(2), 65-71.
<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/28694>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación (6a. ed. --.). México D.F.: McGraw-Hill.
- Iñiguez-Covarrubias, G., Díaz-Teres, R., Sanjuan-Dueñas R., Anzaldo-Hernández J. a, Roger M. Rowell c

- Jiménez, Edith., Prieto, Francisco., Prieto, Judith., Acevedo, Otilio. & Rodríguez, Rodrigo. (2016). Caracterización fisicoquímica de cuatro especies de agaves con potencialidad en la obtención de pulpa de celulosa para elaboración de papel. *Dyna*, Universidad Nacional de Colombia (83), 233-243. <http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v83n197.52243>
- Jiménez, K. & Gamboa, J. (1994). Efecto de la distancia de siembra y fertilización sobre el crecimiento de itabo (*Yucca elephantipes* Regel). *Boletín Técnico Estación Experimental Fabio Baudit M.*, 27(2), 23-32.
- Jiménez-Muñoz, E., Prieto-García, F., Prieto-Méndez, J., Acevedo-Sandoval, O. & 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>
- Juárez, Naidaa., Monribot, Juan., Jiménez, Víctor., Suárez, Rosaelena., Aguilar, Ángel. & Guerrero, José Antonio. (2018). Phytochemical characterization of Izote (*Yucca elephantipes*) flowers. *Journal of Applied Botany and Food Quality*. (91), 202 – 210. DOI 10.5073/JABFQ.2018.091.027
- Manals-Cutiño, E., Penedo-Medina, M. & Giralt-Ortega, G. (2011). Análisis termogravimétrico y térmico diferencial de diferentes biomásas vegetales. *Tecnología Química*, 31(2), 180-190. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852011000200005
- Meszáros, E., Jakab, E., Várhegyi, G., Szepesváry, P. & Marosvölgyi, B. (2004). Comparative study of the thermal behavior of wood and bark of young shoots obtained from an energy plantation. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 72(2), 317-328. 10.1016/j.jaap.2004.07.009

Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG]. (1986). Determinación del área de siembra.

Aspectos generales sobre el cultivo y comercialización de ITABO en San Ignacio de Acosta. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-1514.pdf>

Moreno, L.O.; Protacio, C.M. (2012) Chemical composition and pulp properties of abaca (*Musa textilis* N'ee) cv. Inosa harvested at different stages of stalk maturity. *Ann. Trop. Res* (34), 45–62. https://annalsoftropicalresearch.com/wp-content/uploads/pdf_files/Volume34No.2/3.pdf

Müller-Hagedorn, M., Bockhorn, H., Krebs, L. & Müller, U. A comparative kinetic study on the pyrolysis of three different wood species. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 68-69, 231-249. [https://doi.org/10.1016/S0165-2370\(03\)00065-2](https://doi.org/10.1016/S0165-2370(03)00065-2)

Ortuño, Á. (1994). Introducción a la Química Industrial. Editorial Reverté. https://books.google.co.cr/books?id=Rkk04SmHTKEC&pg=PA537&lpg=PA537&dq=pulpeo+kraft+y+pulpeo+naoh&source=bl&ots=pCGTDO05E_&sig=ACfU3U3j-z9HxbJlIAJfVY5ZWTru8ccoA&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwimoLiF3YL0AhUKQzABHVbDDOI4ChDoAXoECA4QAw#v=onepage&q=pulpeo%20kraft%20y%20pulpeo%20naoh&f=false

Pande, H. (1998). Non-wood fibre and global fibre supply. *Unasylva*, 49(2). <http://www.fao.org/docrep/w7990E/w7990e08.htm#non%20wood%20fibre%20and%20global%20fibre%20supply>

Patzan Chitay, S. (2020). Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de shampoo a base de extracto crudo de saponinas, obtenido a partir del tallo de izote (yucca elephantipes) a nivel de laboratorio, proveniente de mixco, guatemala. [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos, Guatemala]

<http://www.repositorio.usac.edu.gt/15330/1/Sergio%20Alfonso%20Patzan%20Chitay..pdf>

Raff, Jennifer. (2013). How to read and understand a scientific paper: a guide for non-scientists. Violent metaphors, Thoughts from the intersection of science, pseudoscience, and conflict. <https://violentmetaphors.com/2013/08/25/how-to-read-and-understand-a-scientific-paper-2/>

Rodríguez, N. (2006). Obtención de pulpa por los procesos kraft y a la sosa y su blanqueo, a partir de madera de Eucalyptus citriodora Hook [Tesis de maestría, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo]. Biblioteca Virtual. <http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx/>

Rojas, M. (2021). Producción y exportación de Itabo en Costa Rica / Entrevistada por Charlyn Masís el 9 de setiembre del 2021 <https://youtu.be/5xROWBZ0RU8>

Rushdan, I. (2002). Chemical composition of alkaline pulps from oil palm empty fruit bunches. Oil Palm Bulletin, (44), 19-24
https://www.researchgate.net/publication/282219953_Chemical_Composition_of_Alkaline_Pulps_from_Oil_palm_Empty_Fruit_Bunches

Saijonkari-Pahkala, K. (2001). Non-wood plants as raw material for pulp and paper. Tesis de grado. Faculty of Agriculture and Forestry, University of Helsinki.
<https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/20756/nonwoodp.pdf?...1>

Salvador, M.; Amigó, V.; Nuez, A.; Sahuquillo, O.; Llorens, R. & Martí, F. (2017). Caracterización de fibras vegetales utilizadas como refuerzo en matrices termoplásticas. J. Clean. Prod. (18) 573–580.
http://www.upv.es/VALORES/Publicaciones/CNM08_Fibras_naturales.pdf

- Sánchez, F. & Barrantes, J. (2008). Hojas, flores y tallos comestibles no tradicionales en Costa Rica. *Revista de Ciencias Sociales*, (119), 137-152. DOI 10.15517/RCS.V0I119.10789
- Secretaría de Economía de los Estados Unidos Mexicanos. (2008). Norma Mexicana NMX-N-069-SCFI-2008, Industria de celulosa y papel, Freeness de la pulpa, método de prueba. <http://camaradelpapel.mx/pdf/Normas/NMX-N-069-SCFI-2008.pdf>
- Smith, Gideon. & Figueiredo, Estrela. (2016). Widely cultivated, large-growing yuccas: notes on *Yucca elephantipes* Regel ex Trel., *Yucca gigantea* Lem., and *Yucca guatemalensis* Baker (Agavaceae). *Bradleya*, British Cactus and Succulent Society. (34), 28–37. <https://doi.org/10.25223/brad.n34.2016.a18>
- Stephenson, J. N. (Ed.). (1950). *Pulp and paper manufacture* (Vol 1). New York, NY: McGraw Hill.
- Tamarit, J. (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/pdf/617/61720204.pdf>
- TAPPI. (2006). Diffuse opacity of paper (d/0 paper backing) T452. <https://www.tappi.org/content/sarg/t519.pdf>
- TAPPI. (2006). Tensile properties of paper and paperboard (using constant rate of elongation apparatus) T-494 om 81 <https://www.tappi.org/content/sarg/t494.pdf>
- TAPPI. (2008). Grammage of paper and paperboard (weight per unit area), Test Method TAPPI/ANSI T 410 om-19 <https://imisrise.tappi.org/TAPPI/Products/01/T/0104T410.aspx>
- TAPPI. (2009). Acid-insoluble lignin in wood and pulp, T 222 om-02). <https://www.tappi.org/content/SARG/T222.pdf>

- TAPPI. (2009). Formación de hojas manuales para pruebas físicas de pulpa, método de prueba TAPPI (T 205). <https://www.tappi.org/Search/?srchtext=T+205>
- TAPPI. (2015). Thickness (caliper) of paper, paperboard, and combined board (T411) <https://www.tappi.org/Search/?srchtext=T+205>
- TAPPI. (2021). Brightness of pulp, paper, and paperboard (directional reflectance at 457 nm), Test Method TAPPI/ANSI T 452. <https://imisrise.tappi.org/TAPPI/Products/01/T/0104T452.aspx>
- TAPPI. (2021). Bursting strength of paper, Test Method TAPPI/ANSI T 403 om-15 <https://imisrise.tappi.org/TAPPI/Products/01/T/0104T403.aspx>
- TAPPI. (2021). Internal tearing resistance of Paper(Elmendorf-type method) T414 <https://ipstesting.com/find-a-test/tappi-test-methods/tappi-t-414/>
- Tomeu, B. (1990). *Estudio de factibilidad para la producción y exportación de tres tipos de plantas ornamentales (Aglaonema s.p., Dracaena marginata y Yucca elephantipes) al mercado norteamericano* [Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica].
- Valverde, Juan Carlos., Araya, Mónica., Arias Aguilar, Dagoberto., Masís, Charlyn., & Muñoz, Freddy. (2022) Evaluation of the Optimal Uses of Five Genotypes of Musa textilis Fiber Grown in the Tropical Region. Polymers (14) 1772. <https://doi.org/10.3390/polym14091772>
- Vázquez, L. & Munguia, G. (2015). Fibras vegetales y las artesanías en el Estado de México. México, Universidad Autónoma del Estado de México, ISBN: 978-607-422-614-0 <http://ri.uaemex.mx>
- Vera, Óscar. (2009). ¿Cómo escribir artículos de revisión? Rev Med La Paz. (15) 63-69.
- Villegas Marín, Claudia. & González Monroy, Beatriz. (2013) Fibras textiles naturales sustentables y nuevos hábitos de consumo. Revista Legado de Arquitectura y Diseño

Universidad Autónoma del Estado de México Toluca, Estado de México, México (13)

31-45. <https://www.redalyc.org/pdf/4779/477947372003.pdf>

Yang, H.-S.; Wolcott, M.; Kim, H.-S. & Kim, H.-J. (2005) Thermal properties of lignocellulosic filler-thermoplastic polymer bio-composites. J. Therm. Anal. Calorim. (82) 157–160.

Obra académica: Propuesta estratégica para la agregación de valor a las fibras naturales y sus residuos para oportunidades productivas en Costa Rica

Publicado en: ISBN: 978-9930-617-58-8 (e-book)

Strategic proposal for adding value to natural fibers and their waste for productive opportunities in Costa Rica

Campos-Rooel, Masis-Manuel, Brenes-Laura, Jiménez- María Fernanda, Leiva- Julian

Presentación

Las fibras naturales han estado presentes en la historia de la humanidad para satisfacer múltiples necesidades como la vivienda y el vestido, aunque su utilización disminuyó a finales de la década de 1900, tras la aparición de los polímeros sintéticos. Hoy día, múltiples preocupaciones relacionadas a los impactos ambientales, los residuos, y a las limitantes para una real economía circular propias de las fibras sintéticas, han hecho que se resurja el protagonismo de las fibras naturales, provenientes de plantas, animales o minerales. Las fibras provenientes de plantas, llamadas también lignocelulósicas son biodegradables, livianas, y renovables. Lo anterior ha hecho que, ante el creciente interés de lograr materiales que generen menor contaminación y residuos, pero que aporten ciertas condiciones anatómicas, y mecánicas, el uso de fibras lignocelulósicas se visualice hoy día en las industrias textil, de construcción, de vivienda, y automotriz, entre otras.

En el 2020 el Tecnológico de Costa Rica (TEC) retoma procesos de investigación y extensión relacionados a las fibras naturales, y particularmente el 2021, se aprueba el proyecto “Evaluación del uso Potencial de Fibras Naturales como Biomaterial” bajo el Código: 1431034 de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del TEC, coordinado por la Escuela de Agronegocios. Dicho proyecto tuvo por objetivo *evaluar el uso potencial de fibras de abacá, dracaena e itabo y sus posibles usos a nivel nacional como biomaterial*. Dicho proyecto complementó actividades previas de investigación donde han convergido las Escuelas de Agronegocios, Ingeniería Forestal, Agronomía, Biología y Química, así como diversos enlaces con el sector institucional y privado relacionados a la producción de este bien.

Dentro de las actividades del proyecto, fue posible dedicar espacio para proponer alternativas y acciones estratégicas de cara a la agregación de valor a estas fibras y sus residuos, de manera que se potencien las oportunidades productivas a nivel nacional, permitiendo la generación de valor localmente junto a los beneficios socioeconómicos que ello podrá implicar. A continuación, se presenta la propuesta estratégica de agregación de valor que los investigadores del proyecto han generado, a partir de cinco ejes principales, en las áreas de papelería, construcción, empaques, abonos orgánicos y textiles respectivamente. Los investigadores motivan a considerar este producto del proyecto como un punto de partida para múltiples aplicaciones más y agradecen a los colegas, organizaciones y estudiantes que contribuyeron a la creación de este documento.

Introducción

La Propuesta Estratégica para la agregación de valor a las fibras naturales y sus residuos para oportunidades productivas en Costa Rica, es una herramienta para promover, desarrollar e impulsar el máximo aprovechamiento para el sector fibras naturales el país. Esta surge ante la necesidad de aprovechar al máximo los productos y los residuos generados a partir de la obtención de las fibras naturales, principalmente de origen lignocelulósico.

A nivel mundial existen cerca de 300 productos elaborados a partir de fibras naturales, entre los principales se encuentran cuerdas, tejidos, bolsas para té, filtros para café, redes de pesca y producción de papeles especiales. Estas fibras son extraídas del tallo y hojas de plantas como *Dracaena Fragans Massangeana* (Dracaena), *Yucca Elephantipes* (Itabo) y la planta *Musa textiles* (Abacá).

Frente a la problemática de encontrar diferentes usos para el aprovechamiento de las fibras naturales, surge además otro problema y es la cantidad de residuos que genera esta actividad. Para el caso específico del Abacá, en el año 2019 para productores de la Región Huetar Norte y Atlántica, se estimó que por tallo de planta del que se extrae la fibra, se genera un 94% de residuos, los cuales se acumulan y no siempre se les encuentra el uso adecuado.

Basados en estos datos, las fibras naturales tienen un alto potencial de generar modelos de negocio que sean útiles para muchos productores de zonas indígenas y rurales, desde encontrar usos alternativos a los acostumbrados a las fibras obtenidas, basándose en sus características fisicoquímicas, hasta el aprovechamiento adecuado de los residuos generados por la práctica los cuales tienen un alto potencial para ser utilizados como biomaterial.

Marco Metodológico

La presente Propuesta para dar valor agregado a las fibras naturales y sus residuos y generar así oportunidades productivas a nivel nacional se ha establecido considerando múltiples elementos como guía, que fueron elaborados de forma previa o paralela a la Propuesta. El principal marco orientador fue Estrategia Nacional de Bioeconomía Costa Rica 2020-2030, sumada a aspectos contextuales y literatura disponible.

En la etapa inicial se realizó una revisión bibliográfica de documentos relacionados de forma directa o indirecta con las fibras naturales, se identificaron los planes de acción o estrategias vigentes, tanto a nivel nacional como regional.

Posterior a la lectura y análisis de los documentos, se logran identificar varios aspectos que son fundamentales para el sector fibras naturales a nivel nacional y regional, aspectos que

dan origen a los ejes que componen la presente Propuesta. De esta forma se permite clasificar y visualizar de mejor manera las necesidades para el desarrollo del sector, y que se permita actuar en concordancia con los intereses y necesidades de todos los actores de la cadena de valor de las fibras naturales.

Propuesta estratégica para la agregación de valor a las fibras naturales y sus residuos para oportunidades productivas en Costa Rica

La Propuesta estratégica para la agregación de valor a las fibras naturales y sus residuos para oportunidades productivas en Costa Rica se compone de 5 ejes de acción, los cuales se determinaron tomando en cuenta tanto los alcances y necesidades de los productores, de encontrar la forma de tener una producción sostenible y generar un valor agregado en sus productos, como en las necesidades de la población, en generar productos que sean de utilidad y acordes con tendencias actuales del mercado, hacia un marcado interés en productos biodegradables y más sostenibles.

Para ello se toma en cuenta el aspecto educativo que se le debe dar a los diferentes participantes de la cadena productiva, para que logren comprender la importancia de aspectos como las buenas prácticas en agricultura, vinculadas con un producto más sostenible y potencialmente con menor huella desde el origen. Se toma en cuenta la búsqueda de mercados extranjeros que puedan pagar de mejor manera los productos nacionales tomando en cuenta que se deben cumplir todos los requisitos que solicitan; y se toma en cuenta la importancia que tiene el reciclaje y la reutilización de los residuos para generar un proceso de economía circular y maximizar los ingresos.

Todos estos aspectos lograron una convergencia que alcanzó a clasificarse en 5 ejes estratégicos, que al desarrollarse de forma conjunta tienen la capacidad de potencializar el desarrollo de productos que tengan un valor agregado en el sector fibras naturales, comprendiendo que es un sector que debe impulsar su desarrollo para maximizar los beneficios proyectados desde la perspectiva ambiental, económica y social.

- Eje 1: Producción de papel reciclado artesanal a base de fibras naturales
- Eje 2: Producción de Tablillas para Construcción con Fibras Naturales
- Eje 3: Elaboración de Bolsas Ecológicas de Fibra Natural
- Eje 4: Producción de Abono Orgánico Enriquecido con Residuos de Fibra Natural

- Eje 5: Elaboración de Prendas de Vestir a Base de Fibras Naturales

Eje 1: Producción de papel reciclado artesanal a base de fibras naturales

La producción de papel reciclado artesanal a base de fibras naturales es una fusión entre la tradición manual con la sostenibilidad ambiental, lo que ofrece un enfoque único y amigable con los recursos naturales. En este proceso, las fibras naturales, provenientes de fuentes renovables, son cuidadosamente recolectadas y desfibradas para crear una pulpa que servirá como materia prima para la fabricación del papel. A diferencia de los métodos industriales convencionales, la producción artesanal destaca por su carácter manual y sin químicos potencialmente contaminantes, lo que permite una mayor personalización y creatividad. Las fibras se mezclan con agua y se distribuyen sobre una malla para dar forma al papel, brindando a los artesanos la libertad de experimentar con diversas mezclas y técnicas. Este método no solo preserva la integridad de los recursos naturales al evitar pulpas blanqueadas con químicos agresivos, sino que también confiere al papel reciclado una apariencia distintiva y una textura única. Además de sus beneficios ambientales, la producción artesanal fomenta la participación de las comunidades locales, contribuyendo a la economía regional. A nivel global tomando en cuenta la creciente conciencia ambiental, la fabricación de papel reciclado artesanal se puede posicionar como un gran ejemplo de prácticas sostenibles que satisfacen nuestras necesidades diarias sin comprometer el equilibrio ecológico.

Objetivo estratégico

1. Implementar un modelo integral de sostenibilidad para la producción de papel artesanal a base de fibras naturales en Costa Rica

Objetivos específicos

- 1.1. Desarrollar un proceso eficiente de recolección de fibras naturales para la producción de papel artesanal.
- 1.2. Mejorar la eficiencia del proceso de producción de papel artesanal.
- 1.3. Fomentar la comercialización y consumo de papel artesanal en Costa Rica.

Descripción de objetivos y acciones

Objetivo 1.1. Desarrollar un proceso eficiente de recolección de fibras naturales para la producción de papel artesanal.

Acciones	Indicador	Responsables
Establecer acuerdos con agricultores locales para la recolección sostenible de fibras naturales.	Toneladas de fibras naturales recolectadas.	Asociaciones de Desarrollo
Implementar programas de concientización sobre la importancia de la recolección adecuada de fibras naturales.	Cantidad de agricultores capacitados.	MAG y MINAE
Crear un sistema de trazabilidad para garantizar la procedencia sostenible de las fibras naturales.	Número de productores adheridos al sistema de trazabilidad.	CERTFOR

Objetivo 1.2. Mejorar la eficiencia del proceso de producción de papel artesanal.

Acciones	Indicador	Responsables
Implementar tecnologías más eficientes en las plantas de producción.	Incremento en la productividad por tonelada de papel.	MICITT, Universidades, Fundaciones, Organismos Internacionales.
Ofrecer capacitaciones a los trabajadores en técnicas de producción sostenible.	Porcentaje de trabajadores capacitados.	INA
Establecer incentivos fiscales para empresas que adopten prácticas	Número de empresas beneficiadas por incentivos fiscales	Ministerio de Hacienda, SNBD, Sistema Bancario Nacional, Cooperativas

sostenibles en la producción de papel reciclado.		
--	--	--

Objetivo 1.3. Fomentar la comercialización y consumo de papel artesanal en Costa Rica.

Acciones	Indicador	Responsables
Desarrollar campañas de concientización sobre los beneficios ambientales del papel reciclado.	Aumento en la demanda de papel reciclado.	Ministerio de Comunicación y MINAE
Establecer alianzas con empresas para la inclusión de papel reciclado en sus operaciones.	Número de empresas colaboradoras.	MEIC, Cámaras Gremiales y Asociaciones de Desarrollo
Implementar programas de educación ambiental en escuelas para promover el uso responsable del papel.	Porcentaje de escuelas participantes.	MEP

Eje 2: Producción de Tablillas para Construcción con Fibras Naturales

La producción de tablillas para construcción con fibras naturales representa una alternativa innovadora y sostenible en el ámbito de la construcción, al fusionar la funcionalidad estructural con la ecoeficiencia. Este proceso implica el aprovechamiento de fibras naturales como materia prima principal. Estas fibras, conocidas por su resistencia y durabilidad, son sometidas a procesos de tratamiento y unión para formar tablillas robustas que pueden ser empleadas en diversas aplicaciones constructivas. La utilización de fibras naturales en lugar de materiales tradicionales como la madera o los compuestos sintéticos no solo reduce la dependencia de recursos no renovables, sino que también minimiza la huella ambiental de la construcción.

Objetivo estratégico

2. Posicionar las tablillas hechas con fibra natural en el mercado de materiales de construcción sostenibles mediante la innovación y promoción eficiente de las tablillas.

Objetivos específicos

- 2.1. Desarrollar un proceso de fabricación eficiente y sostenible de tablillas para construcción.
- 2.2. Fomentar la incorporación de tablillas de fibra natural en proyectos de construcción.
- 2.3. Facilitar el acceso a materiales de construcción sostenibles.

Descripción de objetivos y acciones

Objetivo 2.1. Desarrollar un proceso de fabricación eficiente y sostenible de tablillas para construcción.

Acciones	Indicador	Responsables
Investigar y adoptar tecnologías avanzadas de procesamiento de fibras naturales.	Mejora en la eficiencia del proceso de producción.	MICITT y Universidades
Establecer estándares de calidad y seguridad para las tablillas producidas.	Cumplimiento de estándares por parte de los fabricantes.	INTECO
Promover la certificación de empresas que adopten prácticas sostenibles en la producción de tablillas.	Número de empresas certificadas.	CERTEFOR

Objetivo 2.2. Fomentar la incorporación de tablillas de fibra natural en proyectos de construcción.

Acciones	Indicador	Responsables
----------	-----------	--------------

Incentivar a arquitectos y constructores a utilizar tablillas de fibra natural en diseños sostenibles.	Número de proyectos que incorporan tablillas de fibra natural.	CFIA
Establecer acuerdos con el sector público para el uso de tablillas sostenibles en obras gubernamentales.	Porcentaje de proyectos gubernamentales que utilizan tablillas de fibra natural.	MOPT
Desarrollar programas de sensibilización para promover la adopción de tablillas de fibra natural entre constructores y desarrolladores.	Nivel de participación en programas de sensibilización.	MIVAH

Objetivo 2.3. Facilitar el acceso a materiales de construcción sostenibles.

Acciones	Indicador	Responsables
Establecer líneas de crédito preferenciales para empresas que produzcan tablillas de fibra natural.	Número de empresas beneficiadas por líneas de crédito.	Sistema Bancario Nacional y SNBD
Crear un portal informativo que destaque los beneficios ambientales y económicos de las tablillas de fibra natural.	Número de visitas al portal.	MINAE y CFIA
Desarrollar un programa de incentivos fiscales para la compra de materiales de construcción sostenibles.	Número de beneficiarios de incentivos fiscales.	Ministerio de Hacienda

Eje 3: Elaboración de Bolsas Ecológicas de Fibra Natural

La elaboración de bolsas ecológicas de fibra natural es una clara representación del compromiso actual hacia prácticas comerciales sostenibles y la reducción de la huella ambiental. En este proceso, se emplean las fibras naturales como materia prima principal para confeccionar bolsas reutilizables y biodegradables. Este enfoque se distingue por su respuesta directa al problema global de la contaminación de los plásticos en los ecosistemas y la sobreexplotación de recursos no renovables. La elección de fibras naturales no solo garantiza la degradabilidad del producto final, sino que también promueve la utilización de recursos renovables y la minimización de residuos. La elaboración de estas bolsas va más allá de la mera producción; implica un compromiso con la ética y la responsabilidad ambiental. Los procesos de fabricación buscan reducir al máximo los impactos negativos en el entorno, adoptando prácticas ecoeficientes y considerando cada etapa, desde la cosecha de las fibras hasta la distribución del producto final. Además, estas bolsas se presentan como una alternativa versátil, adaptándose a diversas necesidades y contribuyendo al cambio cultural hacia la reducción del consumo de plástico de un solo uso.

Objetivo estratégico

3. Liderar una transición hacia un modelo sostenible de consumo para reducir el uso de bolsas plásticas mediante la elaboración de bolsas hechas a base de fibras naturales.

Objetivos específicos

- 3.1. Desarrollar una cadena de suministro sostenible para la producción de bolsas ecológicas.
- 3.2. Estimular la demanda y el consumo de bolsas ecológicas.
- 3.3. Implementar políticas y regulaciones para reducir el uso de bolsas plásticas convencionales.

Descripción de objetivos y acciones

Objetivo 3.1. Desarrollar una cadena de suministro sostenible para la producción de bolsas ecológicas.

Acciones	Indicador	Responsables
Establecer alianzas con agricultores para el cultivo responsable de las fibras naturales utilizadas en las bolsas.	Porcentaje de fibras provenientes de agricultura sostenible.	Asociaciones de Desarrollo
Implementar prácticas de producción limpia en las fábricas de bolsas para reducir el impacto ambiental.	Reducción en el uso de recursos naturales por bolsa producida.	MINAE y MAG
Fomentar la certificación de empresas que adopten prácticas sostenibles en la producción de bolsas.	Número de empresas certificadas.	CERTEFOR

Objetivo 3.2. Estimular la demanda y el consumo de bolsas ecológicas.

Acciones	Indicador	Responsables
Implementar campañas de sensibilización sobre los impactos negativos de las bolsas plásticas convencionales.	Cambio en la percepción pública sobre las bolsas de plástico.	Ministerio de Comunicación
Establecer acuerdos con empresas y supermercados para promover el uso de bolsas ecológicas.	Número de empresas colaboradoras.	MEIC

Desarrollar programas educativos en escuelas para fomentar el uso de bolsas reutilizables.	Porcentaje de estudiantes que adoptan el uso de bolsas ecológicas.	MEP
--	--	-----

Objetivo 3.3. Implementar políticas y regulaciones para reducir el uso de bolsas plásticas convencionales.

Acciones	Indicador	Responsables
Establecer un sistema de incentivos fiscales para empresas que utilicen bolsas ecológicas.	Número de empresas beneficiadas por incentivos fiscales.	Ministerio de Hacienda
Reforzar la capacidad de aplicación y monitoreo de las regulaciones relacionadas con el uso de bolsas plásticas.	Aumento en el cumplimiento de las regulaciones.	Ministerio de Salud

Eje 4: Producción de Abono Orgánico Enriquecido con Residuos de Fibra Natural

La producción de abono orgánico enriquecido con residuos de fibra natural constituye una estrategia innovadora y sostenible en la gestión de residuos y la promoción de prácticas agrícolas ecoamigables. En este proceso, residuos de fibras naturales se incorporan a la composición del abono orgánico, generando un producto final que no solo nutre el suelo, sino que también reduce la dependencia de fertilizantes químicos y aprovecha al máximo los recursos naturales disponibles. La descomposición de estos residuos de fibra natural, ricos en carbono, enriquece el suelo al mejorar su estructura y retención de humedad, favoreciendo así la salud y la fertilidad de este. Este enfoque sostenible no solo reduce la cantidad de residuos agrícolas que podrían terminar en vertederos, sino que también contribuye a cerrar el ciclo de vida de los productos orgánicos y a promover la economía circular.

Objetivo estratégico

4. Consolidar una cadena de valor agregado y economía circular para la producción de Abono Orgánico a partir de residuos de Fibra Natural.

Objetivos específicos

- 4.1. Desarrollar un sistema de recolección y procesamiento de residuos de fibra natural para la producción de abono orgánico.
- 4.2. Promover el uso de abono orgánico en la agricultura sostenible.
- 4.3. Garantizar la calidad y seguridad del abono orgánico producido.

Descripción de objetivos y acciones

Objetivo 4.1. Desarrollar un sistema de recolección y procesamiento de residuos de fibra natural para la producción de abono orgánico.

Acciones	Indicador	Responsables
Establecer programas de recolección de residuos de fibra natural en colaboración con empresas y agricultores.	Toneladas de residuos recolectados.	MAG, Asociaciones Locales y Empresa Privada
Implementar tecnologías de compostaje eficientes para el procesamiento de los residuos.	Reducción en el tiempo de compostaje.	CINDE, Universidades y Cooperativas
Fomentar la participación activa de la comunidad en la separación y entrega de residuos orgánicos.	Porcentaje de hogares participantes en programas de separación de residuos.	Municipalidades locales

Objetivo 4.2. Promover el uso de abono orgánico en la agricultura sostenible.

Acciones	Indicador	Responsables
----------	-----------	--------------

Ofrecer alternativas de distintivos que permitan una diferenciación en el mercado y a su vez una ventaja competitiva que permita un incremento en sus ingresos.	Aumento en el uso de abono orgánico en la agricultura.	MAG
Desarrollar programas de capacitación para agricultores sobre los beneficios del abono orgánico.	Porcentaje de agricultores capacitados.	INA
Establecer acuerdos con empresas agroindustriales para la compra de abono orgánico producido localmente.	Número de empresas colaboradoras.	MEIC

Objetivo 4.3. Garantizar la calidad y seguridad del abono orgánico producido.

Acciones	Indicador	Responsables
Establecer estándares de calidad y seguridad para el abono orgánico.	Cumplimiento de estándares por parte de los productores.	INTECO
Implementar un sistema de monitoreo para asegurar la ausencia de contaminantes en el abono.	Resultados de monitoreo que cumplen con los estándares establecidos.	Ministerio de Salud
Promover la certificación de productores que sigan prácticas sostenibles en la	Número de productores certificados.	CERTFOR

producción de abono orgánico.		
-------------------------------	--	--

Eje 5: Elaboración de Prendas de Vestir a Base de Fibras Naturales

La elaboración de prendas de vestir a base de fibras naturales representa una actividad importante para la convergencia de la moda y la sostenibilidad. Desde la etapa de cultivo hasta la producción final, la cadena de suministro se compromete a minimizar el impacto ambiental. Este enfoque sostenible se refleja no solo en la elección de materias primas, sino también en la producción misma, donde se emplean procesos de fabricación eficientes y tecnologías innovadoras para reducir el consumo de recursos y energía. Las prendas resultantes no solo contienen la esencia de la moda sostenible, sino que también representan la resistencia a la cultura de la moda rápida y desechable.

Objetivo estratégico

5. Impulsar la industria de la moda sostenible a través de la elaboración de prendas de vestir a base de fibras naturales.

Objetivos específicos

- 5.1. Desarrollar una cadena de suministro sostenible para la producción de prendas de vestir.
- 5.2. Estimular la demanda y el consumo de prendas sostenibles.
- 5.3. Impulsar la innovación y la investigación en la industria de prendas de vestir sostenibles.

Descripción de objetivos y acciones

Objetivo 5.1. Desarrollar una cadena de suministro sostenible para la producción de prendas de vestir.

Acciones	Indicador	Responsables
Establecer acuerdos con productores locales de fibras naturales para asegurar materias primas sostenibles.	Porcentaje de materias primas provenientes de fuentes sostenibles.	MAG

Implementar prácticas de producción textil ecoamigables, incluyendo procesos de tintura y acabado sostenibles.	Reducción en el uso de agua y productos químicos por prenda producida.	INA
Fomentar la certificación de empresas que adopten prácticas sostenibles en la producción de prendas.	Número de empresas certificadas.	CERTFOR

Objetivo 5.2. Estimular la demanda y el consumo de prendas sostenibles.

Acciones	Indicador	Responsables
Implementar campañas de sensibilización sobre los impactos negativos de la industria textil convencional.	Cambio en la percepción pública sobre la moda sostenible.	Ministerio de Comunicación
Establecer alianzas con diseñadores y marcas de moda para promover la adopción de fibras naturales.	Número de diseñadores y marcas que adoptan fibras naturales.	MEIC
Desarrollar programas educativos en escuelas y universidades sobre la moda sostenible.	Participación de instituciones educativas en programas de educación sobre moda sostenible.	MEP

Objetivo 5.3. Impulsar la innovación y la investigación en la industria de prendas de vestir sostenibles.

Acciones	Indicador	Responsables
-----------------	------------------	---------------------

Fomentar la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías en la producción de fibras naturales.	Número de proyectos de investigación financiados.	MICITT
Establecer programas de capacitación para trabajadores en técnicas de producción sostenible.	Porcentaje de trabajadores capacitados.	INA
Crear un fondo de inversión para apoyar a emprendedores en la industria de moda sostenible.	Número de emprendimientos respaldados.	MEIC

Bibliografía

- Gutiérrez, J., Carpio, I., & Alpízar, L. (1994). *Utilización de desechos agroindustriales fibrosos en Costa Rica*. Obtenido de [https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/download/28694/28674/80383#:~:text=Entre%20las%20fibras%20estudiadas%20se,Dracaena%20massangeana%20\(Ca%C3%B1a%20India\).](https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/download/28694/28674/80383#:~:text=Entre%20las%20fibras%20estudiadas%20se,Dracaena%20massangeana%20(Ca%C3%B1a%20India).)
- Masis, C. (2023). *Evaluación del uso potencial de Itabo (Yucca elephantipes regel) para la producción de papel*.
- Ministerio de Ambiente y Energía. (2019). *Análisis de inversión y ruta crítica para desarrollar industria de productos de un solo uso renovables y compostables a base de biofibras*. Obtenido de https://www.oneplanetnetwork.org/sites/default/files/from-crm/240-84d7f721131e47824e330000a0222214_INVERSION_Y_RUTA_PARA_EL_DESARROLLO_DE_LA_INDUSTRIA_DE_PRODUCTOS_A_BASE_DE_BIOFIBRAS_WEB.pdf

Ministerio de Educación Pública. (1996). *Confección de Artículos en fibras naturales*.
Obtenido de
<https://www.mep.go.cr/sites/default/files/programadeestudio/programas/confeccion-articulos-fibras-7.pdf>