

PRODUCTIVIDAD Y COMPETITIVIDAD FRUTÍCULA

ANDINA

Producto 10. Informe de tecnologías agroalimentarias y procesos de industrialización de la fruta fresca y sus derivados, con la descripción de los nuevos prototipos de productos alimentarios y no alimentarios obtenidos. Parte 2

Carlos Eduardo Orrego

Yeimy Alejandra Rodríguez

Beatriz Brito

Lady Joana Rodríguez

2020





Códigos JEL: Q16

FONTAGRO (Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria) es un programa de cooperación administrado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), pero con su propia membresía, estructura de gobernabilidad y activos. Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, FONTAGRO, de sus Directorios Ejecutivos ni de los países que representan.

El presente documento ha sido preparado por Carlos Eduardo Orrego, Yeimy Alejandra Rodríguez Beatriz Brito, Lady Joana Rodríguez

Copyright © 2021 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional. Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Esta publicación puede solicitarse a:

FONTAGRO

Correo electrónico: fontagro@fontagro.org

www.fontagro.org

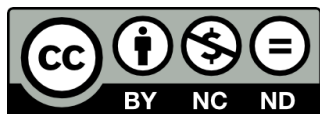


Tabla de Contenidos



Abstract / Resumen 4

Introducción..... 5

Objetivos..... 10

Metodología 11

Resultados 18

Discusión..... 28

Conclusiones 33

Referencias Bibliográficas 34

Instituciones participantes 39



Abstract

The growing demand for natural and healthy foods has driven fruit production in Colombia and around the world. Large amounts of waste are produced throughout the fruit production chain and at the final stage of consumption, including stems, stubble, foliage, peels, seeds, and non-commercial or unharvested fruit. These materials are wasted; they are generally left in the agricultural area or make up a large part of the waste deposited in municipal landfills with subsequent polluting effects and risks to public health. This monograph shows six cases where agricultural residues from passion fruit, avocado and banana / plantain are used, thus proposing some innovative solutions among which are included for the food area the manufacture of supports for enzymes, extraction of aromas and dietary fibers, and in the materials area; the production of biocomposites with natural fibers and bioplastics.

Keywords: Agricultural Waste, Value Added

Resumen

La creciente demanda de alimentos naturales y saludables ha impulsado la producción de frutas en Colombia y en todo el mundo. A lo largo de la cadena de producción de fruta y en la etapa final de su consumo, se producen grandes cantidades de desechos, incluidos tallos, rastrojos, follaje, cáscaras, semillas y fruta no comercial o no cosechada. Estos materiales se desperdician; generalmente se dejan en el área agrícola, o componen una gran parte de los residuos depositados en los vertederos municipales con posteriores efectos contaminantes y riesgos para la salud pública. En esta monografía se muestran seis casos en donde se aprovechan los residuos agrícolas provenientes del maracuyá, aguacate y banano/plátano, proponiéndose así algunas soluciones innovadoras entre las cuales se incluyen para el área de alimentos la fabricación de soportes para enzimas, extracción de aromas y fibras dietarias y, en el área de materiales, la elaboración de biocompuestos con fibras naturales y bioplásticos.

Palabras Clave:

Residuos Agrícolas, Agregación de Valor



Introducción

En Colombia, Ecuador y Perú más del 85% de la producción agrícola depende de la agricultura familiar. En el marco del proyecto “Productividad y competitividad frutícola Andina”, financiado por FONTAGRO, se evaluó el uso de residuos agrícolas y agroindustriales provenientes de maracuyá (*Passiflora edulis*), aguacate (*Persea americana*) y plátano (*Musa paradisiaca*). La producción anual mundial de estas frutas y las estimaciones de sus residuos agrícolas se enumeran en la Tabla 1.

Tabla 1 Producción global y colombiana de tres frutas tropicales y andinas.

Fruta	Producción (Toneladas métricas)		Estimación de residuos agrícolas (Toneladas métricas)	
	Mundo	Colombia (Agronet, 2018)	Mundo	Colombia
Maracuyá	24.184.510	169.155		
Aguacate	6.410.000 ¹	544.933	3.200.000 3.600.000 ²	to 54.000 to 66.000
Banano y plátano	115.740.000 ¹	2.068.833 3.651.636	96.000.000 ²	1.734.000

¹(Statista, 2018) ²Valores calculados ³

Estudios en diferentes países Latinoamericanos indican que las pérdidas entre la cosecha y el consumo varían del 20% al 30%, mientras que en el procesamiento industrial de frutas varía del 30 al 50% (Di Donato et al., 2011). Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), se pierden o desperdician alrededor de 1.300 millones de toneladas de alimentos anualmente en todo el mundo (FAO, 2015). Las tres frutas andinas analizadas tienen una cantidad sustancial de piel y semillas que se subutilizan o se eliminan como residuos después del consumo o el procesamiento industrial (Tabla 2) que generalmente terminan en rellenos sanitarios. El manejo incorrecto de los vertederos provoca emisiones de metano y dióxido de carbono, y la incineración libera contaminantes, como dioxinas, furanos, gases ácidos y partículas, que presentan serios riesgos ambientales y para la salud (Deng et al., 2012).

Tabla 2 Porcentaje de pulpa, piel y semilla en tres frutos andinos.

Fruta	Pulpa (%)	Piel (%)	Semilla (%)
Maracuyá	44-56	45-55	1-8
Aguacate	88-96	-	4-12
Banana	63-70	30-37	-



Sin embargo, estos residuos contienen una gran cantidad de materiales de interés, pues están compuestos de celulosa, hemicelulosa, lignina, fibras, vitaminas y metabolitos secundarios (polifenoles, carotenoides, esteroides, sabores, colorantes, aceites esenciales, flavonoides, alcaloides, taninos, cumarinas, lactonas, terpenos y saponinas), entre muchos otros. Estas moléculas son usadas en diferentes industrias para la fabricación de productos de valor agregado, como enzimas, ácidos orgánicos, compuestos aromatizantes, colorantes alimentarios, bioetanol y biometano, a través de aplicaciones microbianas.

Esta monografía describe de forma resumida un conjunto de casos de estudio realizados en el desarrollo del proyecto Productividad y Competitividad Frutícola Andina, para el uso de los desechos provenientes del cultivo, la cosecha y el procesamiento del maracuyá, aguacate y banano/plátano. Algunos de dichos materiales se muestran en la figura 1.

Cultivos y residuos de maracuyá, banano/plátano y aguacate

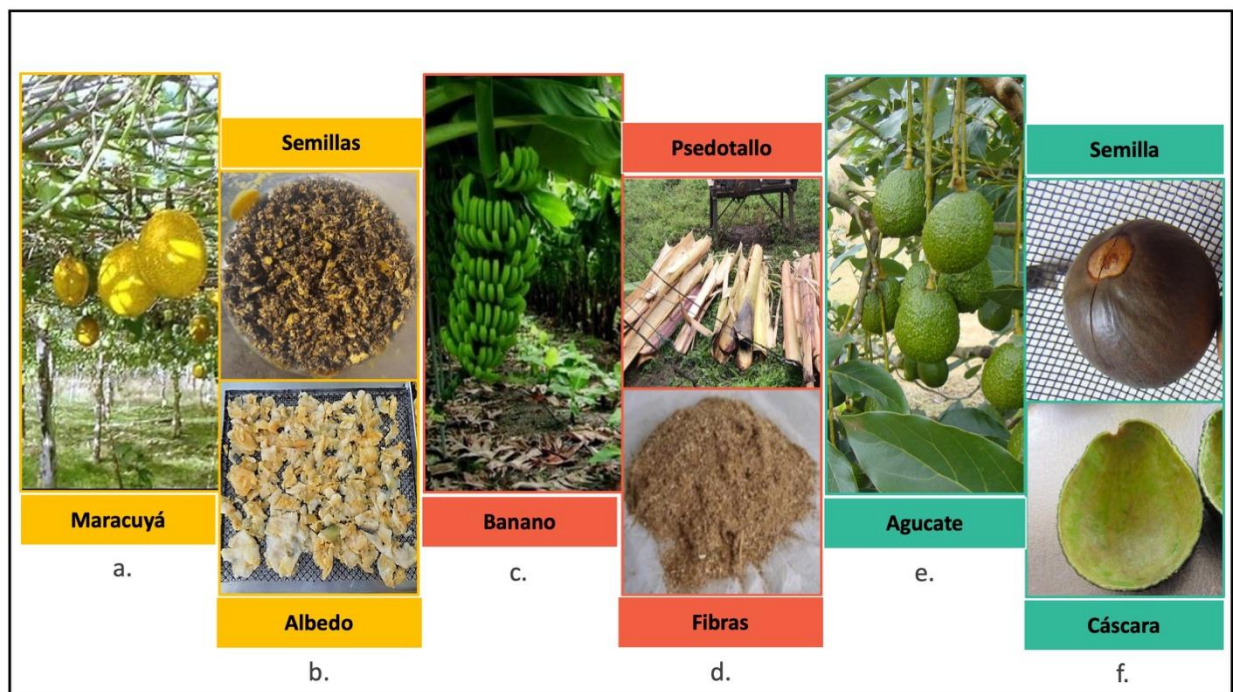


Figura 1 Cultivos y residuos de maracuyá, banana/plátano y aguacate.

En los casos 1 y 2 se usaron ramas y tallos de cultivos maracuyá y pseudo-tallo de banano/plátano para la inmovilización de enzimas (ver gráfica 1 d.). Las enzimas son proteínas que controlan buena parte de las reacciones químicas de los organismos vivos. Son usadas para realizar tareas específicas y de alto valor agregado en el sector industrial. Sin embargo, necesitan de condiciones adecuadas para poder realizar sus funciones debido a que son muy lábiles. Una de las opciones que mejora significativamente su estabilidad y permite reutilizarlas, es la inmovilización, técnica que se emplea en la producción de detergentes, saborizantes naturales, papel, cosméticos,



hidrólisis de aceites y grasas, tratamiento de residuos, en biosensores, diagnóstico y tratamiento de enfermedades, entre otras. En los estudios de caso 1 y 2 se describe la inmovilización de dos tipos de enzimas: lipasas y proteasas como tecnología dirigida a la obtención de catalizadores biológicos o biocatalizadores (González-Bacerio & Moreno-Medina, Víctor Ricardo Martínez, 2010). Las lipasas se han usado en un amplio número de procesos industriales tales como la producción de fármacos más selectivos y efectivos, con efectos secundarios menores, y en la obtención de pesticidas de menor toxicidad (Macrae & Hammond, 1985). Las proteasas han sido empleadas para la producción de hidrolizados proteicos y péptidos bioactivos, los cuales poseen diferentes propiedades que contribuyen a mejorar la salud humana.

Un catalizador es una sustancia que se añade a una reacción para aumentar su velocidad, sin ser consumida en el proceso. Las enzimas como las lipasas y proteasas son catalizadores. Los materiales que actualmente se usan para soportar enzimas son costosos. En el **caso 1** se utilizó una matriz de resina bioepóxica con un porcentaje de origen natural y renovable con fibras de residuos agrícolas, es decir, un material amigable con el medio ambiente.

En el caso 2 se hizo la inmovilización de una proteasa sobre tallos de maracuyá para la producción de hidrolizados de proteína. Las proteínas son uno de los principales macronutrientes de los alimentos, son fuente de energía y aminoácidos, además contribuyen con el mantenimiento del cuerpo humano. Los hidrolizados proteicos son obtenidos de diferentes fuentes animales o vegetales ricas en proteínas, y son generalmente consumidos por deportistas como suplemento nutricional. Entre las fuentes de proteínas para fabricar hidrolizados proteicos se encuentran; el suero de leche, arroz, salvado de arroz, soya, pescado, entre otros. El salvado de arroz es un subproducto de la industria arrocero, es rico en proteínas y generalmente es empleado como alimento para animales o es descartado.

Los hidrolizados proteicos pueden ser producidos mediante diferentes vías, ya sea a través de hidrólisis microbiana o enzimática. El primer proceso usualmente se lleva a cabo en un medio homogéneo, en donde la enzima no puede ser recuperada del medio de reacción. La inmovilización de enzimas ofrece la ventaja de fijar la enzima a una matriz sólida para su posterior reuso, impidiendo de esta forma la pérdida de la enzima, lo que ofrece ventajas económicas. Se han evaluado diferentes residuos provenientes de la agroindustria para la inmovilización de enzimas (Rodríguez-Restrepo & Orrego, 2020). Estos estudios han demostrado que los materiales lignocelulósicos cumplen con algunas de las características necesarias para ser empleados como soporte en el proceso de inmovilización. En el caso de estudio 2 se describe la metodología y los resultados obtenidos para la producción de hidrolizados proteicos a partir del salvado de arroz, empleando tripsina inmovilizada sobre fibras de celulosa aisladas del tallo de maracuyá.

En el caso 3 se usó un residuo de despulpado de maracuyá para la extraerle aromas por maceración en aceite y fibra dietaria a partir de la fracción de albedo en dicho material.



El aroma es una propiedad organoléptica que viene dada por diferentes sustancias volátiles presentes en los alimentos, de manera natural u originada durante su procesado. El aroma distintivo de un alimento se debe a varias sustancias químicas; en el caso del maracuyá se extrae de las semillas, cuyo contenido en el fruto oscila entre un 16.7–33.5% y se clasifica como sustancia aromatizante natural (Oliveira, Angonese, Gomes, & Ferreira, 2016). Diversos estudios han encontrado en los aceites de maracuyá compuestos de alto valor nutricional como ácidos grasos, principalmente linoleico, oleico y palmítico (Liu, Xu, Gong, He, & Gao, 2012). El aceite de maracuyá, presente en sus semillas, tiene propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, antibacterianas, permite la disminución de la secreción de sebo (para pieles grasas y acnéicas), proporciona efecto calmante y reduce de rojeces de la piel, entre otras (Malacrida & Neuza, 2012). Es considerado como una fuente promisoría para posibles aplicaciones en la industria alimentaria (bebidas, confitería, tabaco, procesados y enlatados), cosmética (cuidado personal, detergentes, jabones y cuidado dental) y farmacéutica (homoterapia, aromaterapia y productos de cuidado personal) (Paima Quevedo, 2009).

Para caracterizar aceites esenciales existen técnicas instrumentales como la cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC, por sus siglas en inglés High Performance Liquid Chromatography) y la cromatografía de gases que se utilizan para identificar y cuantificar compuestos individuales del aroma (Sánchez et al., 2006). Las técnicas anteriores utilizan el muestreo de los componentes volátiles acumulados en el aire de un recipiente donde se encuentra contenida la muestra.

La fibra dietaria se encuentra principalmente en la pared de las células vegetales, y es definida como la parte comestible de las plantas o carbohidratos análogos, que son resistentes a la digestión y adsorción en el intestino delgado, con una completa o parcial fermentación en el intestino grueso (Cañas Angel, Restrepo Molina, & Cortès Rodriguez, 2011). Según la recomendación de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA), el consumo recomendado por día de fibra dietaria es de 25 gramos, y su ingesta regular trae beneficios a la salud como la prevención de desórdenes gastrointestinales, diabetes, colesterol alto, entre otras (Cañas Angel et al., 2011). La fibra dietaria puede ser obtenida de diferentes fuentes incluyendo los residuos agroindustriales tales como los provenientes del procesamiento del maracuyá. Durante la producción de pulpa y jugos del maracuyá, son generados entre 60-65% de residuos, los cuales están representados por cáscaras, semillas y albedo.

En el estudio de caso 4 se fabricaron materiales biocompuestos a partir de los residuos de banano/plátano (ver gráfica 1 d.). Los materiales biocompuestos son aquellos que contienen 2 o más fases, una matriz y un refuerzo con materia prima de origen renovable y/o biodegradable. Se están utilizando para reemplazar parcial/totalmente materiales no renovables o no biodegradables como el plástico de origen petroquímico. Por esta razón existen tecnologías e investigaciones para explorar nuevos materiales que incluyen una matriz plástica con relleno de fibras naturales. Las fibras naturales son de origen animal o vegetal (cultivo/residuo), por



ejemplo, el algodón, yute, cáñamo, sisal, fique, entre otras. Cada año se cosechan millones de toneladas de fibras naturales de una amplia variedad de plantas y animales. Son definidas como una opción saludable, responsable, sostenible, de alta tecnología y de moda con una producción estimada de 33 millones de toneladas métricas y beneficio aproximado para 40 millones de familias (Townsend, 2020). Los materiales biocompuestos se consideran como una opción sostenible y de alta tecnología usada en la industria automotriz, construcción, empaques, hogar, entre otros.

En el estudio de caso 5 se evaluaron materiales bioplásticos fabricados a partir de residuos de aguacate. El aguacate es un fruto que normalmente se consume en fresco, y en menor proporción es empleado para la producción de aceite. Del consumo del aguacate se generan dos diferentes residuos; la cáscara y la semilla. La semilla del aguacate representa entre el 25-35% del peso de la fruta entera y está compuesta principalmente por almidón (~66%), y en menor proporción por proteínas y azúcares (López-vargas, Fernández-lópez, Pérez-álvarez, & Viuda-martos, 2013). El almidón de la semilla de aguacate es un interesante compuesto que puede ser empleado para la producción de bioplásticos, brindando así una alternativa sostenible para la reducción de plásticos derivados del petróleo, los cuales tardan cientos de años en descomponerse.

Los estudios mencionados fueron supervisados por investigadores del proyecto y fueron ejecutados por estudiantes para sus tesis de pregrado, maestría o doctorado.



Objetivos

Informar sobre algunas de las opciones para usar residuos poscosecha o agroindustriales provenientes del maracuyá, banano/plátano y aguacate.

Caracterizar los residuos agroindustriales provenientes de tres frutales andinos: maracuyá, banano/plátano y aguacate.

Describir algunos procesos de agregación de valor de los residuos de maracuyá, banano/plátano y aguacate.

Caracterizar las propiedades más importantes de los productos o prototipos obtenidos a partir de los residuos.

Metodología

CASO 1. Inmovilización de una lipasa en un biocompuesto de residuos en resina bioepóxica

Los tallos del cultivo de maracuyá y banano/plátano se secaron, molieron y tamizaron para obtener un tamaño de partícula $\leq 250 \mu\text{m}$. La resina epóxica (66%) se mezcló con el catalizador (26%) y el agente espumante (polimetilhidrosiloxano; 4%), residuos molidos y activados (4%) y se vertieron en un molde (ver figura 2 a.). Al final se obtuvieron pellets/cilindros de biocompuestos rellenos con las fibras activadas (ver figura 2 b.).

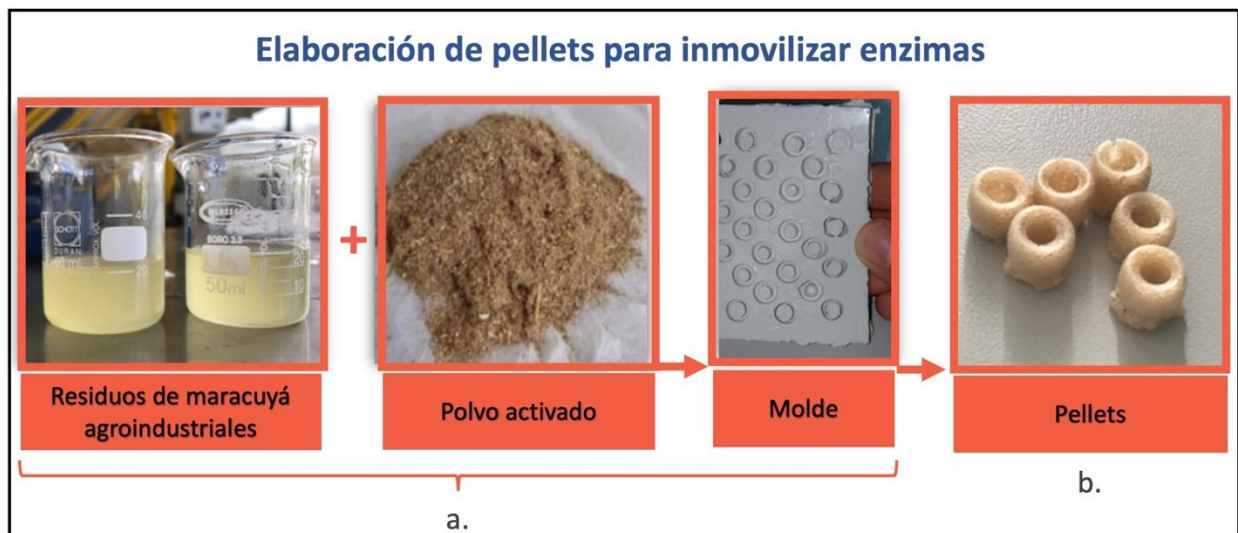


Figura 2 Proceso para la inmovilización de enzimas en pellets de resina epóxica de origen natural con fibras del maracuyá y plátano.

La eficiencia de la inmovilización se evaluó en términos del rendimiento de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} & \text{Rendimiento de la inmovilización (\%)} \\ & = 100 \times (\text{Proteína total inmovilizada} / \text{Proteína total introducida}) \end{aligned}$$

Después de fabricado se evaluaron algunas propiedades mecánicas del material que tenía la forma de cilindros/pellets, de diámetro y altura de aproximadamente 8,1 mm y 5,6 mm, respectivamente. La prueba de fractura utilizó un Texturómetro (ver figura 3) y en ella se estableció la fuerza (en Newtons) necesaria para fracturar los soportes (Wu, Zhou, & Li, 2007).



Figura 3. Esquema e imagen de prueba de resistencia al aplastamiento.

La estabilidad química se evaluó sumergiendo los pellets en aceite de oliva y soluciones de agua alcalina y ácida (24 h, 60 ° C). El peso final de los pellets después de su exposición al solvente y se comparó con el peso original para estimar la estabilidad (variabilidad de peso) de acuerdo con la ecuación:

$$\text{Variabilidad de peso (\%)} = 100 \times ((\text{Peso final} - \text{Peso inicial})/\text{Peso inicial})$$

A los pellets o soportes se les acopló una lipasa. Su actividad catalítica se determinó por titulación utilizando una emulsión de aceite de oliva que se preparó mezclando 25 mL de aceite de oliva y 75 mL de solución de goma arábiga en un homogeneizador durante 2 minutos. Una unidad de actividad de lipasa se definió como la cantidad que liberaba 1 μmol de ácido graso por minuto (Prazeres, Cruz, & Pastore, 2006).

CASO 2. Inmovilización de una proteasa sobre tallos de maracuyá para la producción de hidrolizados de proteína

Caracterización de las materias primas: Como soporte para la movilización se empleó el tallo del maracuyá que se caracterizó en función del contenido de celulosa, hemicelulosa, lignina y extractivos (Rowell, 1997). La fuente de proteína fue el salvado de arroz, al que se le determinaron sus contenidos de grasa, proteína, carbohidratos totales y humedad (Huang & Lai, 2016).

Extracción de celulosa: Los tallos de maracuyá se secaron a 35°C durante 48 horas. Posteriormente fueron molidos hasta obtener un tamaño de partícula por debajo de los 5 milímetros. Los tallos secos y molidos se sometieron a diferentes tratamientos químicos con el fin de remover la mayor cantidad de hemicelulosa, celulosa y lignina (El-Sakhawy & Hassan, 2007; Jonoobi, Harun, Shakeri, Misra, & Oksmand, 2009). Al final del proceso se determinó el contenido total de celulosa.



Figura 4 Tallos de maracuyá sin tratamiento (lado izquierdo) celulosa extraída después de los tratamientos químicos (lado derecho).

Proceso de inmovilización: Una vez obtenidas las fibras de celulosa, se procedió a activar el soporte para la posterior inmovilización de la enzima. Para esto, se emplearon diferentes reactivos como el glicidol, el glutaraldehído y la etilendiamina (Bezerra, Bassan, Santos, Ferraz, & Monti, 2015; Machado et al., 2012). Una vez activado el soporte, se prepararon diferentes buffers para la inmovilización, con una concentración de enzima de 4 mg/mL. Se tomaron 200 mg del soporte activado con cada uno de los reactivos y se adicionaron 5 mL de la solución que contenía la enzima. El sistema se dejó en agitación durante 18 horas a 4°C para llevar a cabo la inmovilización de la enzima. Una vez terminado el proceso, se determinó el rendimiento de la inmovilización y la cantidad de enzima en el soporte (Bradford, 1976). Con base en los resultados obtenidos se seleccionó el sistema para llevar a cabo la hidrólisis de las proteínas del salvado de arroz.

Extracción de proteína a partir del salvado de arroz: En esta sección primero se removió la grasa del salvado de arroz empleando etanol al 96%; la materia prima seca y sin grasa se mezcló con agua destilada en un radio 1:5 peso/volumen y se llevó hasta pH 9 para remoción de las proteínas por solubilización/ precipitación (Wang, Chen, Fu, Li, & Wei, 2017). La proteína obtenida se liofilizó y se almacenó hasta su uso.

Obtención de los hidrolizados: Se prepararon soluciones de proteína al 2.5% peso/volumen en agua ultrapura (Zhao et al., 2012). La hidrólisis se llevó a cabo durante 4 horas a 37°C siguiendo en método pH Stat (Alder-Nissen, 1986), utilizando tanto la enzima sin inmovilizar como la enzima inmovilizada, y se determinó el grado de hidrolisis para cada ensayo.

CASO 3. Dos opciones para agregación de valor al residuo de despulpado de maracuyá

Para extraer los aromas se usó el proceso de maceración. Este tipo de extracción es empleada en alimentos, flores, hierbas y en especial en la elaboración de perfumes. El residuo de la operación de despulpado de una empresa transformadora de fruta de Manizales, Colombia, conformado

principalmente por albedo, pulpa y semillas de maracuyá se utilizó como materia prima (ver Fig. 5 a.). El material se trituró en fresco (tal y como venían de la empresa) en un molino convencional para reducir su tamaño de partícula y así mejorar su proceso de extracción (ver Fig. 5 b.). El proceso de maceración se realizó en caliente y para ello se estudiaron 3 relaciones de residuo y aceite de girasol a varias temperaturas (entre 50 y 80°C) para determinar así la condición óptima de maceración (figura 5).

Para cada lote de residuos de despulpado, este proceso de maceración optimizado se repitió siete veces. Después de finalizada la maceración, los aceites obtenidos se centrifugaron durante 10 minutos a 6000 rpm para luego ser filtrados a través de microfibra de nylon (ver Fig. 5 d.).

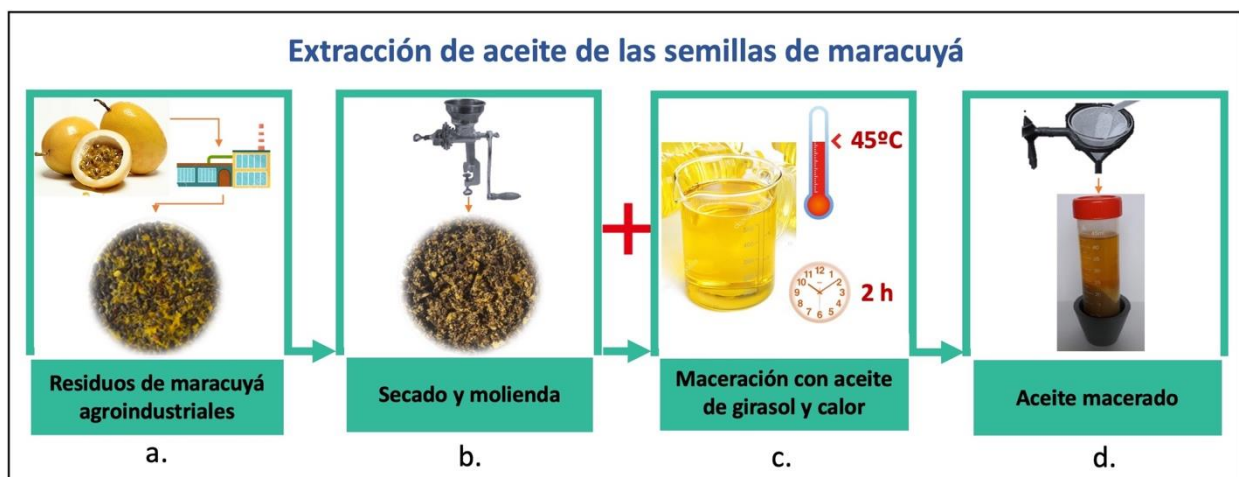


Figura 5 Extracción de compuestos volátiles de maracuyá por maceración en caliente.

Durante el ciclo de maceración se determinó el rendimiento del proceso; luego de obtener los aceites macerados se evaluaron los aromas del maracuyá mediante la técnica de microextracción en fase sólida (SPME, por sus siglas en inglés)

La identificación de los compuestos presentes en la fracción volátil de los aceites macerados se realizó por comparación de los índices de retención lineal y los espectros de masa experimentales con los reportados en bases de datos.

Para la extracción de fibra dietaria se siguió el siguiente protocolo.

Acondicionamiento de la materia prima y selección del solvente: Del mismo material residual mencionado en el caso 3 se extrajo manualmente el albedo de maracuyá para ser inmediatamente deshidratado a diferentes temperaturas durante 24 horas (muestras de 60 gramos). Una vez finalizada esta etapa, las muestras fueron molidas y tamizadas para obtener un material seco de tamaño uniforme ($\sim 0.5\text{ cm}$). Posteriormente, 1 gramo de este deshidratado fue mezclado con agua o con etanol al 95% volumen/volumen en un radio 1:5 material seco: solvente. El sistema se mantuvo en agitación durante 30 minutos y las temperaturas de extracción



evaluadas fueron de 30 y 60 °C. En la figura 6 se presentan algunas de las etapas del proceso para la obtención de concentrados de fibra dietaria.

Cálculo de la concentración de fibra dietaria: La fibra dietaria total (fibra soluble + fibra insoluble) se determinó mediante el método AOAC (1995) con el kit comercial Megazyme.

Diseño experimental: Para el diseño experimental se tuvieron en cuenta como variables dependientes: la temperatura de secado de la materia prima y temperatura de extracción. La variable de respuesta estudiada fue el rendimiento de extracción de fibra dietaria y este se evaluó en función del tipo de fibra: soluble e insoluble.

Optimización: Para la optimización del proceso, se empleó la metodología de superficie de respuesta (RSM por sus siglas en inglés). Los factores y los niveles se tomaron a partir de los resultados experimentales preliminares. El RSM fue usado para explorar las temperaturas óptimas de secado y de extracción. La fibra dietaria soluble se definió como objetivo para “maximizar”, y la fibra dietaria insoluble para “minimizar”. Los gráficos de superficie de respuesta se generaron con la ayuda del paquete estadístico comercial Design-Expert (v. 12.0).

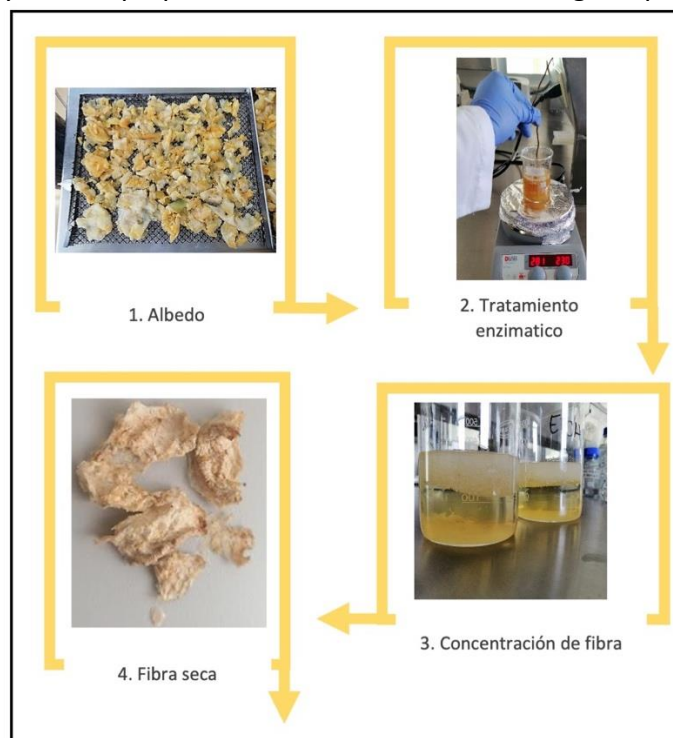


Figura 6 Etapas para la obtención de concentrado de fibra dietaria.

CASO 4. Biocompuestos de fibra de plátano en matrices híbridas

En este caso se prepararon materiales biocompuestos a partir de los residuos postcosecha del cultivo plátano/banano (ver figura 7 a.). Los pseudotallos se cortaron y abrieron en calcetas (ver figura 7 b.). Después, con el uso de una máquina desfibradora, las fibras fueron extraídas, lavadas



y secadas al aire libre (ver figura 7 c. y d.).



Figura 7 proceso de extracción de las fibras del pseudotallo de plátano.

Las fibras secas fueron transportadas a la planta piloto donde fueron molidas hasta un tamaño entre 10 to 230 μm y secadas en un horno hasta un porcentaje de humedad del 8% para mejorar la mezcla con la matriz plástica del material compuesto o compuesto (ver figura 8 a.). Los plásticos utilizados fueron el polietileno de alta densidad (plástico de origen petroquímico) y ácido poliláctico (bio-plástico fabricado a partir del maíz). El contenido de fibra adicionado fue hasta 40% y el polietileno de alta densidad y el ácido poliláctico hasta 45%, ambos estimados en peso sobre el total de la mezcla. La fabricación del biocompuesto se realizó mediante un proceso de extrusión y moldeo por inyección a temperaturas entre 150 y 210°C para fundir y mezclar los materiales (ver figura 8 b.). En la Fig. c. se pueden observar las probetas de biocompuesto y las tapas fabricadas.



Figura 8 Elaboración de materiales biocompuestos con fibras naturales.



Las probetas y las tapas de biocompuestos fueron evaluadas en varias de sus propiedades y comparadas respecto de las mismas propiedades del polietileno de alta densidad y el ácido poliláctico puros. Se midieron características técnicas, ambientales y económicas, mediante ensayo de tensión, análisis del ciclo de vida y análisis del ciclo del costo. La prueba de tensión se realizó de acuerdo con la norma ASTM D 638-10 utilizando una máquina de prueba universal (ASTM_D638-14, 2014). El análisis del ciclo de vida se basó en la norma ISO (ISO 14040, 2006) y se realizó con el software SimaPro, versión 8.2.3. El análisis del ciclo del costo se realizó de acuerdo con la norma AS/NZS 4536: 1999, como un proceso para determinar los gastos totales relacionados con un producto (Standard ANZ, 1999).

CASO 5. Bioplástico de semillas de aguacate

Extracción del almidón: Inicialmente las semillas de aguacate fueron higienizadas y secadas a temperatura ambiente. Posteriormente fueron pesadas y cortadas. Las muestras se sumergieron en una solución al 0.2% (peso/volumen) de metabisulfito de sodio y se dejaron en reposo durante 24 horas. Posteriormente las semillas fueron licuadas y filtradas, la solución obtenida se dejó en reposo durante 24 horas. Seguido, la solución fue decantada para separar los gránulos de almidón. El almidón obtenido se lavó con abundante agua destilada, se filtró y se dejó en una estufa a 70°C durante 6 horas para su secado (López-vargas et al., 2013).

Caracterización físico-química del almidón: El almidón extraído se caracterizó en términos de humedad, temperatura de gelatinización, Índice de absorción de agua, claridad de la pasta, contenido de amilosa, amilopectina y rendimiento de extracción de almidón.

Elaboración de la biopelícula: Se evaluaron diferentes formulaciones compuestas por los siguientes compuestos: almidón, glicerina, agua, celulosa, solución de hidróxido de sodio, alcohol polivinilo (PVA) y solución de ácido acético en diferentes concentraciones. Una vez establecidos los compuestos a usar, se procedió de la siguiente forma: primero se dosificó la materia prima; seguido, el almidón se mezcló con agua destilada, glicerol y PVA, la mezcla se mantuvo en agitación constante durante 1 hora; en el tercer paso, la mezcla se transfirió a un recipiente con calentamiento y se llevó hasta 80°C, una vez alcanzada esta temperatura, se añadió lentamente hidróxido de sodio (30%) o ácido acético (25%), hasta que se alcanzara la consistencia deseada; por último, la mezcla fue depositada en pequeños recipientes, y se mantuvo en una estufa durante 18 horas a 65°C. Al final de proceso se desmotaron las biopelículas y se caracterizaron.

Caracterización del bioplástico obtenido: Las biopelículas fueron caracterizadas en función de la humedad, solubilidad en agua, densidad, espesor, elongación, análisis superficial y biodegradabilidad del bioplástico.

Resultados

CASO 1

En la gráfica se pueden observar las diferentes etapas en la elaboración de los biocompuestos para inmovilizar las enzimas en fotografía y en micrografías de la materia prima (figura 9 a. y b.), las fibras (figura 9 c. y d.) y los pellets (figura 9 e. y f.).

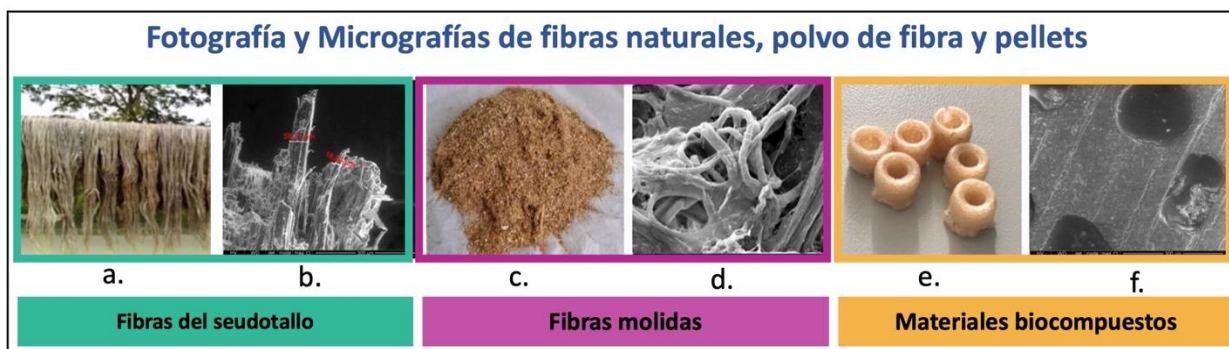
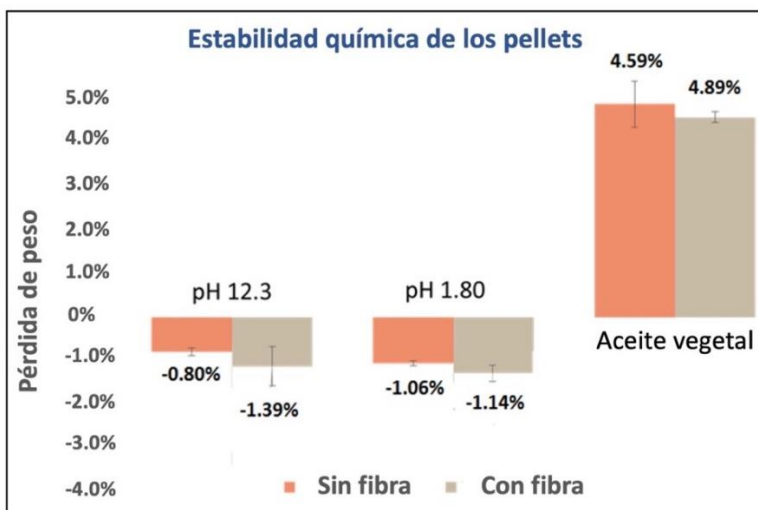


Figura 9 Secuencia de fotografías y micrografías SEM de materias primas e intermedias en la preparación de biocomposites. a. y b. tallos de frutas; c. y d. fibras molidas; e. pellets cilíndricos huecos de biocompuesto relleno de fibra; f. micrografía SEM de superficie de un pellet.

Para medir la estabilidad química de los pellets en medios de reacción regulares catalizados por lipasa, se sumergieron en soluciones de agua con pH extremo y en aceite vegetal. La variabilidad del peso promedio se muestra en la gráfica 1. Los pellets sufrieron ligeras pérdidas en el medio de solución de agua y una ganancia de peso positiva en el aceite porque parte del aceite quedó atrapado en la matriz porosa de los pellets.



Gráfica 1 Estabilidad química de los pellets

La principal prueba mecánica utilizada para los gránulos de catalizador es la prueba de resistencia



al aplastamiento de un solo pellet. Además, para el material poroso, esta prueba es uno de los aspectos más importantes para el desempeño confiable y eficiente en un bioreactor. El ensayo consiste en la deformación lenta de un pellet mediante un plato que se mueve contra un plato estático hasta que se rompa y se produzca una caída característica de la carga de trituración. La fuerza máxima aplicada antes de la fractura del pellet se registra como la resistencia al aplastamiento.

La tabla 3 muestra la comparación entre la resistencia al aplastamiento de los pellets de forma cilíndrica, hueca fabricados, y los resultados publicados acerca de la misma prueba con pellets cilíndricos sólidos de alúmina comercial. Los resultados de resistencia fueron superiores a pesar de que los cilindros utilizados en este trabajo eran huecos.

Tabla 3. Resultados de la prueba de resistencia al aplastamiento de pellets

Tamaño (mm)		Fuerza de aplastamiento radial (N)	
Diámetro	Altura	Promedio \pm SD	Ref.
9.1	5.17	27.50 \pm 8.64	(Wu et al., 2007)
9.1	6.59	34.20 \pm 11.20	
9.4	5.20	30.10 \pm 10.00	(David, 2015)
8.1	5.60	58.39 \pm 11.17	Este trabajo (1)
8.1	5.60	40.41 \pm 7.08	Este trabajo (2)

n = 3; (1) Pellet cilíndrico sin lipasa; (2) Pellet cilíndrico con lipasa.

La Tabla 4 resume los resultados del comportamiento catalítico de la lipasa inmovilizada. Los datos presentados se replicaron tres veces y durante tres ciclos. Los valores medios se compararon con los resultados de un trabajo similar que inmovilizó lipasa de candida rugosa en Eupergit® (una matriz unida a polímero epóxido) (Knezevic, Milosavic, Bezbradica, Jakovljevic, & Prodanovic, 2006).

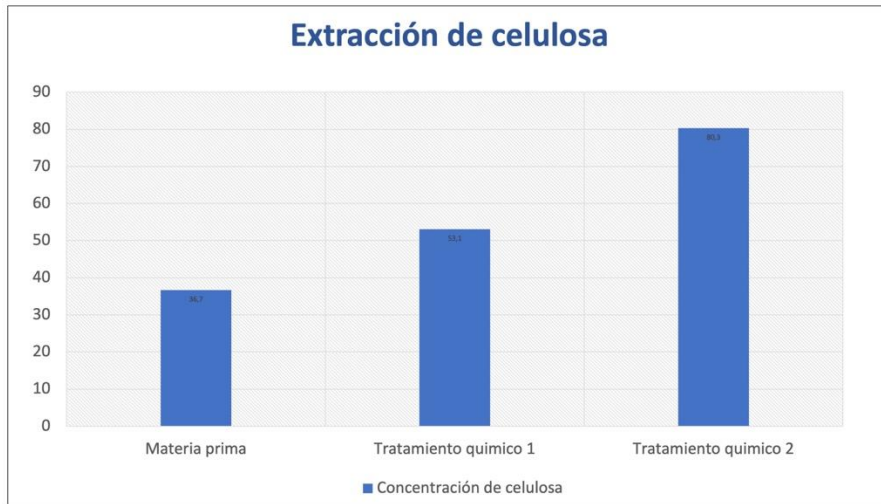
Tabla 4 Parámetros catalíticos

Forma	Carga de proteína (mg/g soporte)	Ciclo	Actividad de la lipasa (u/g soporte)	
			Promedio \pm SD	Ref.
Cilíndrica	10-27	1	33.93 \pm 3.17	Este trabajo
		2	19.13 \pm 3.34	Este trabajo
		3	13.32 \pm 1.08	Este trabajo
Esférica	80-90	1	17.13 \pm 0.87	(Knezevic et al., 2006)

CASO 2



Una vez desarrollada la metodología se obtuvieron los siguientes resultados. Primero se cuantificó el aumento de celulosa en la materia prima después de los tratamientos químicos aplicados. La gráfica 2 representa la concentración de celulosa al final de los tratamientos químicos y en la tabla 5 la caracterización del salvado de arroz.



Gráfica 2. Concentración de celulosa en las fibras de maracuyá después de los tratamientos químicos.

Tabla 5. Composición del salvado de arroz

Parámetro	Cantidad (%)
Humedad	13.7±1.0
Grasa	13.9±0.2
Proteína cruda	12.8± 0.3
Cenizas	9.0±0.5
Carbohidratos	56.2±3.5

Una vez conseguidas las fibras, se procedió con la etapa de inmovilización. Los rendimientos y la cantidad de enzima adherida a los soportes se presentan en la tabla 6. Teniendo en cuenta estos resultados, se seleccionó el tratamiento 2 para inmovilizar la enzima en los ensayos posteriores. Definido el método de inmovilización, se procedió a extraer la proteína del salvado de arroz. En la figura 10 se muestran las etapas del proceso.

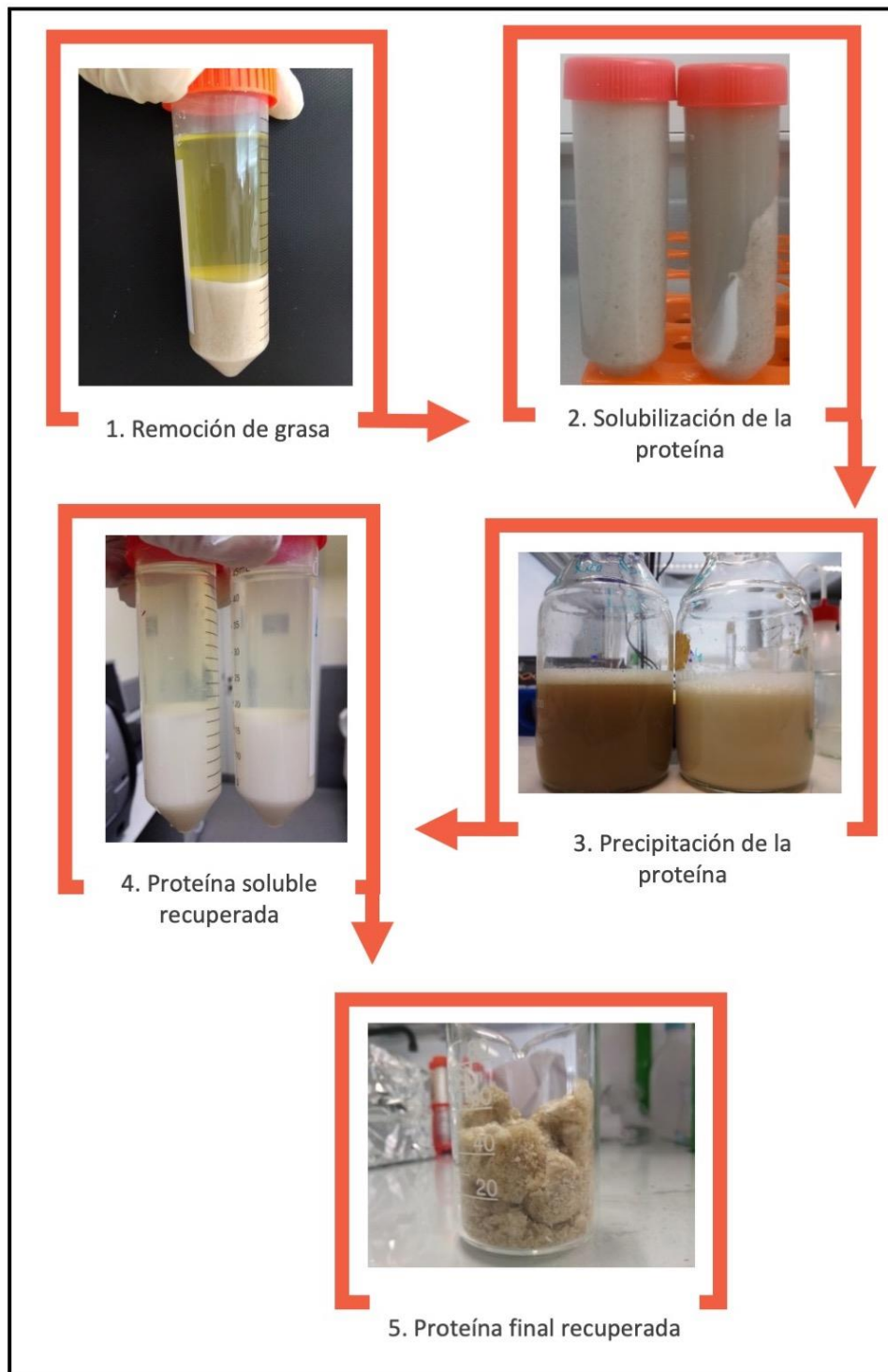


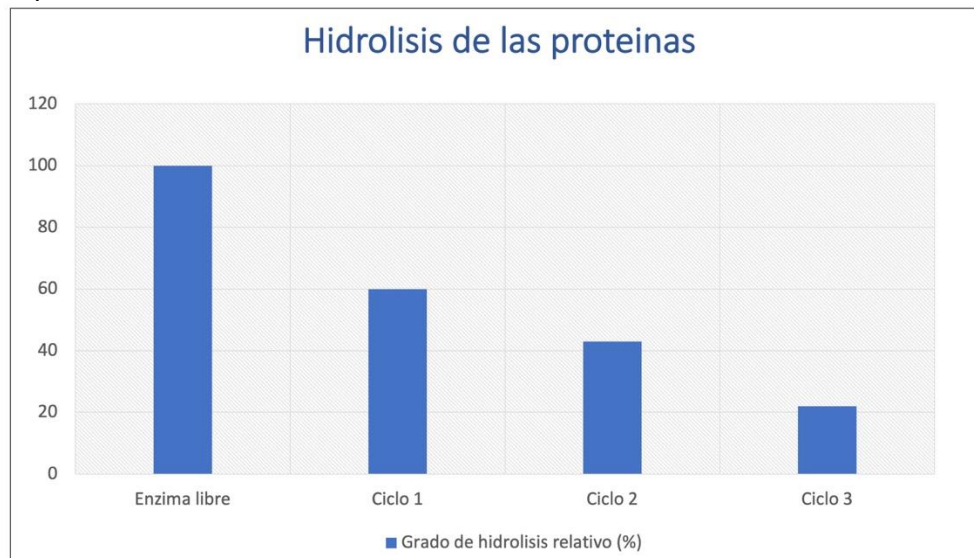
Figura 10 Etapas para la recuperación de proteína a partir del salvado de arroz.



Tabla 6. Inmovilización de tripsina sobre fibras de celulosa del maracuyá

Identificación de los tratamientos	Rendimiento de inmovilización (%)	Enzima inmovilizada (g/g de fibra de maracuyá)
Tratamiento 1: Adsorción	34.9±6.6	1.6±0.3
Tratamiento 2: Enlace covalente con glicidol	67.5±2.2	2.9±0.1
Tratamiento 3: Enlace covalente con glutaraldehído y etilendiamina	46.1±3.3	2.3±0.2

Después de obtenido el soporte, seleccionado el método de inmovilización y recuperada la proteína, se procedió con la obtención de los hidrolizados.



Gráfica 3 Grado de hidrólisis (GH) para las proteínas del salvado de arroz.

CASO 3

Los estudios sobre extracción de aromas y fibra dietaria fueron suspendidos en marzo de 2020 debido a que se prohibió el acceso a los laboratorios en donde se desarrollaban por las medidas gubernamentales para el control de la pandemia del Covid 19. A continuación se presentan algunos resultados parciales.

Sobre la extracción de aromas:

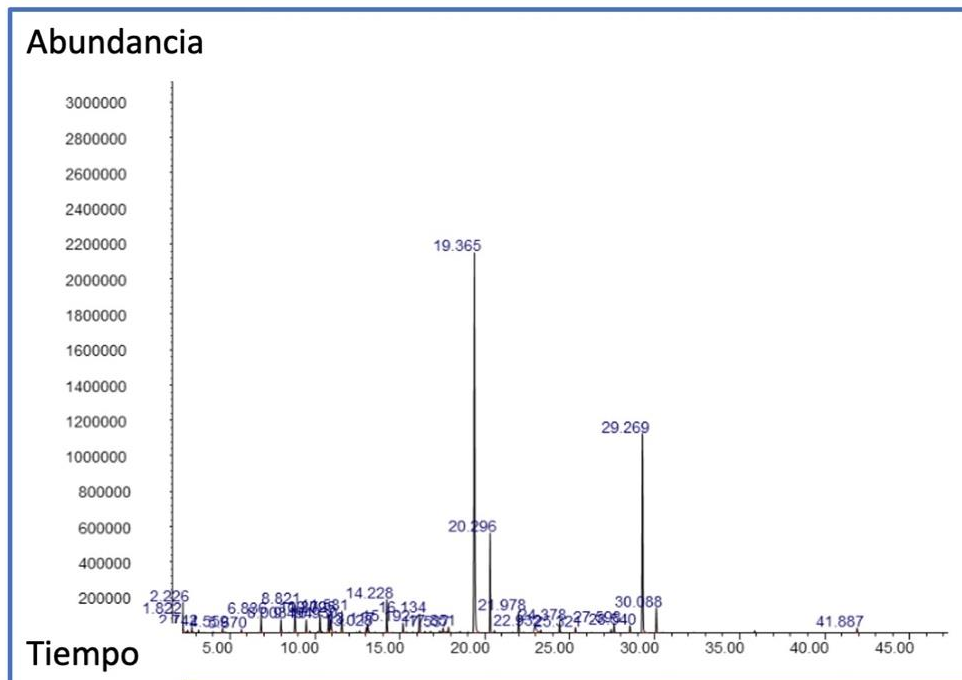
La tabla 7 se muestra el rendimiento de extracción de aceite. Luego de cada maceración se pesó el aceite filtrado y se sacó el rendimiento respecto del peso inicial del mismo, al final del proceso de maceración se obtuvo un 72% de aceite macerado, el 28% restante se atribuye al aceite que queda impregnado en el residuo luego de su maceración.



Tabla 7 Rendimiento del aceite macerado

Aceite/ciclo	Inicial	1	2	3	4	5	6	7
1	100	93.29	82.89	91.68	95.92	89.97	75.89	73.14
2	100	98.09	87.40	90.32	86.04	83.48	80.19	73.82
3	100	100.40	87.48	91.7	89.81	66.72	71.19	76.94
4	100	102.00	90.54	88.67	85.51	64.25	68.37	67.41
Promedio (%)	100	98.45	87.08	90.59	89.12	76.11	73.91	72.83
Desviación estándar	0	3.79	3.15	1.434	4.79	12.59	5.21	3.97
Coficiente de variación	0	3.85	3.62	1.58	5.37	16.54	7.05	5.455

En los cromatogramas de gases se identificaron los diferentes compuestos volátiles y se cuantificó la intensidad de los compuestos y a cada pico cromatográfico se le asignó un compuesto generador de olor. En la gráfica 4 se muestra uno de los perfiles cromatográficos.



Gráfica 4 Fracción volátil del aceite macerado a 70°C para las tres relaciones de residuo

Sobre la extracción de fibra dietaria:



En los ensayos preliminares, al comparar agua y etanol, se seleccionó el agua como solvente ideal para a extracción.

En la experimentación con agua se hicieron 17 pruebas en las que se varió la temperatura de extracción y la temperatura de secado del material extraído en tres niveles : 50, 50 y 70 °C.

Se midieron las concentraciones de los diferentes tipos de fibra en los productos secos. Los modelos matemáticos de las superficies de respuesta (siglas RSM en idioma inglés) para la predicción del contenido de fibra dietaria insoluble y total (siglas IDF y TDF respectivamente, en idioma inglés) en dichos materiales fueron:

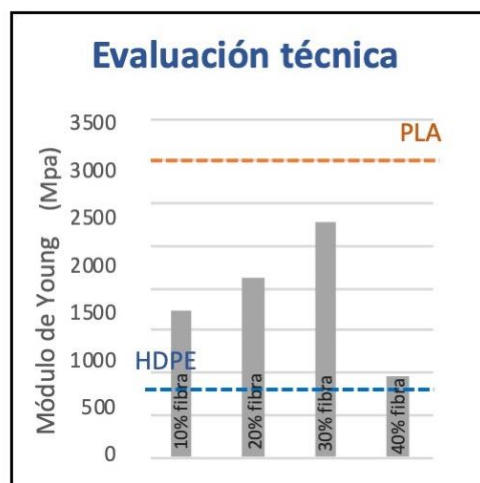
$$IDF = -2.55 - (0.076)X_1 + (0.021)X_2 - (6 * 10^{-4})X_1^2 - (1.57 * 10^{-4})X_2^2$$

$$TDF = -6.067 + (0.135)X_1 + 0.083X_2 - (1.071 * 10^{-3})X_1^2 - (6.71 * 10^{-4})X_2^2$$

Para X_1 y X_2 temperaturas de extracción y secado, respectivamente.

Hasta el momento de la suspensión de actividades se encontró que las temperaturas optimizadas para la obtención de las fracciones ricas en fibra fueron 64°C y 62 °C, respectivamente, condiciones que permitieron obtener rendimientos del 26% de fibra dietaria soluble, 61% de insoluble y 87 % de fibra total. Las propiedades de hidratación y absorción de aceite del material indican que es de alto potencial para ser aplicado en diferentes procesos industriales y/o tecnológicos o de enriquecimiento de alimentos.

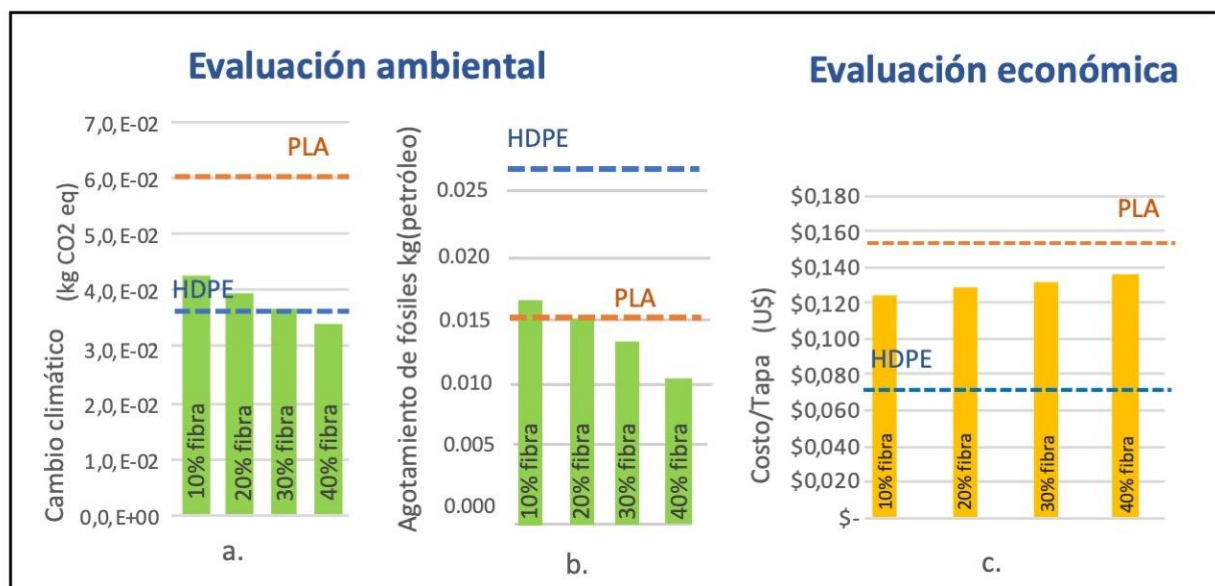
CASO 4: En la gráfica 5 se muestra el resultado de la prueba mecánica. El ácido poliláctico tiene el valor más alto y el polietileno de alta densidad el menor. El módulo de Young de los biocompuestos oscila entre los dos materiales iniciales entre 900 Mpa (con 40% de fibra) y 2250 Mpa (con 30% de fibra).



Gráfica 5 Resultados de prueba de tensión de materiales biocompuestos.



En la dimensión ambiental el mayor impacto se detectó en las tapas fabricadas con los materiales iniciales (ver gráfica 6). En cuanto a los materiales biocompuestos, varios impactos están por debajo del polietileno de alta densidad entre mayor cantidad de fibra es menor el efecto, por eso el de menor impacto es que contiene 40% de fibra. En la dimensión económica el ácido poliláctico es el de mayor costo y el polietileno de menor. Los biocompuestos tiene valores intermedios donde las tapas con mayor cantidad de fibra tienen mayor valor alrededor de los 0.14 dólares/tapa.



Gráfica 6 Resultados de la evaluación ambiental y económica de materiales biocompuestos.

CASO 5

En la figura 11 se esquematiza el procedimiento para la extracción de almidón de la semilla de aguacate.



Figura 11 Etapas para la obtención de bioplástico a partir de la semilla del aguacate

Como se mencionó anteriormente, el primer paso para la obtención del bioplástico es la extracción del almidón de la semilla del aguacate. En la tabla 8 se presenta la caracterización del almidón obtenido.

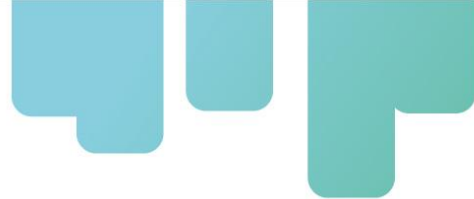


Tabla 8. Caracterización del almidón

Parámetro	Valor
Humedad (%)	11 ± 1
Temperatura de gelatinización (°C)	66.7 ± 1.5
Claridad de pasta (%)	43 ± 2
Índice de absorción de agua (g gel/g de muestra)	5.4 ± 0.3
Índice de Solubilidad en Agua (%)	21.2 ± 0.1
Poder de hinchamiento (g agua/g almidón)	0.17 ± 0.01
Amilosa (%)	22.3 ± 0.0
Amilopectina (%)	77.7 ± 0.0
Rendimiento de extracción del almidón	5.0+ 0.1

En la tabla 9 se presenta la composición para la obtención de la biopelícula, la masa de almidón y el volumen de NaOH adicionados se mantuvieron constantes.

Tabla 9. Formulaciones para la elaboración de la biopelícula

Formulación	Almidón (g)	Glicerina (g)	PVA (g)	NaOH 30% (mL)
1	3	2	6	5
2	3	2.5	5	5
3	3	3	4	5
4	3	3.5	3	5
5	3	4	2	5

De las biopelículas elaboradas con las formulaciones presentadas en la tabla 9, se caracterizó aquella que presentó mayor durabilidad y resistencia, la cual, en este caso fue la formulación #1. Los resultados obtenidos para la caracterización se presentan en la tabla 10.

Tabla 10. Caracterización de la biopelícula

Parámetro	Valor
Humedad (%)	23.4±1.2
Solubilidad en agua (%)	39.4±8.7
Densidad (g/cm ³)	1.5±0.1
Espesor (mm)	0.57±0.04
Biodegradabilidad (%)	21±7
Tensión (Mpa)	1.5±0.1
Deformación (%)	21±2
Módulo de elasticidad (Mpa)	10.1±1.4



Discusión

CASO 1

Los aceites vegetales epoxidados se han utilizado en muchas aplicaciones, como plastificantes para plásticos, estabilizadores o agentes endurecedores para resinas epoxi a base de petróleo. Los aceites muestran un potencial superior como materiales renovables y económicos para algunas aplicaciones industriales, y su adición al epoxi también ayuda a disminuir el costo del producto final. Los pellets fabricados con resina bioepoxica y residuos de postcosecha de maracuyá y banano/plátano mostraron potencial para ser usados en la inmovilización de enzimas. Los resultados de la estabilidad química sugieren una aparente inercia de los gránulos en medios oleosos y una ligera solubilidad en medios acuosos de pH extremo. Las pruebas mecánicas mostraron que, aunque la bioresina tiene algunas desventajas, como el bajo rendimiento mecánico y la temperatura de deflexión térmica en comparación con las resinas epoxi sintéticas comerciales. El relleno de fibra mejoró la resistencia para superar algunos de estos obstáculos y cumplir con ciertos requisitos industriales. En cuanto a las enzimas, aunque la carga proteica fue menor que la exhibida por el soporte comercial, la actividad de la lipasa fue superior en el primer uso y similar en el tercer ciclo de uso. Aparentemente, la actividad mostrada por la lipasa de *Candida rugosa* en compuestos bioepoxi de fibra natural es similar a la observada para la lipasa en soportes enzimáticos reconocidos.

Los tallos de cultivos de frutas se podrían utilizar como cargas de matrices bioepoxi para la inmovilización de enzimas. Se fabricó y caracterizó preliminarmente un vehículo enzimático de gránulos de espuma hueca de base biológica híbrida ($\approx 30: 70$). Las respuestas de resistencia a la catálisis de lipasa en entornos de reacción convencionales fueron buenas y las medidas de resistencia al aplastamiento cumplen con el estándar de los sedimentos del catalizador. Aunque la carga de proteína fue baja, la actividad hidrolítica y catalítica fue comparable / superior a las observadas en trabajos publicados similares (para lipasa de *Candida rugosa* en soportes a base de epoxi).

CASO 2

Como se puede observar en la gráfica 2, el aumento en la concentración de celulosa en las fibras de maracuyá fue alrededor del 44% en comparación con las fibras sin tratar, lo que representa un aumento relativo mayor al 100%. Los tratamientos químicos aplicados para la eliminación de lignina y hemicelulosa de los tallos de maracuyá rompen la matriz polimérica y ofrecen una alta accesibilidad a los grupos hidroxilo presentes en las fibras vegetales (Bassan et al., 2016) convirtiendo las fibras de celulosa en un portador óptimo para la inmovilización.

Por otra parte, también se caracterizó el salvado de arroz con el fin de conocer la proteína total disponible, entre otros parámetros. La tabla 5 muestra los resultados de la composición química proximal del salvado de arroz. Estos valores para la composición de la materia prima varían dependiendo de su origen natural y de diferentes factores asociados al cultivo, manejo de la



tierra, variaciones de los factores ambientales y procesamiento del arroz.

Por lo general, cuando se realiza inmovilización por adsorción (tratamiento 1, tabla 6)), no se presentan cambios en la estructura nativa de la enzima y los enlaces formados son débiles, lo que puede producir un desprendimiento de la enzima. En los tratamientos 2 y 3, la enzima fue inmovilizada por unión covalente multipunto, aquí, se forman enlaces más fuertes, aunque la estructura de la enzima puede verse afectada, por lo que la actividad tiende a disminuir una vez llevado a cabo el proceso de inmovilización. Como se observa en la tabla 6, la inmovilización de tripsina mediante unión covalente (tratamiento 2) presentó mayor rendimiento (67%) en comparación con la de unión por adsorción (tratamiento 1) y la unión covalente (tratamiento 3), las cuales presentaron un rendimiento de inmovilización del 40 y del 46% respectivamente. Estas diferencias podrían deberse a los tratamientos químicos extra y la posible inactivación de estos últimos.

En la figura 10 se presentan las etapas que conducen a la recuperación de proteína del salvado de arroz. En la etapa 1 se empleó etanol al 96% y se removió aproximadamente el 75% de la grasa total en la materia prima, lo que facilita la extracción de las proteínas. En la etapa 2 se solubilizó alrededor del 52% de la proteína total en la materia prima, y se precipitó más del 90% de la misma (etapa 3). La proteína precipitada se separó por centrifugación y posteriormente se liofilizó (etapa 3). La proteína total recuperada fue alrededor de 7.3 g de proteína por cada 100 gramos de salvado de arroz sin grasa, lo cual representó un rendimiento global de extracción del 47%.

En la gráfica 3 se presenta el grado de hidrolisis para las proteínas del salvado de arroz después de cuatro horas de reacción, empleando la enzima sin inmovilizar (enzima libre) y la enzima inmovilizada sobre la celulosa de los tallos de maracuyá. El grado de hidrolisis (GH) es una medida en función de la cantidad de enlaces péptidos que se rompen durante la reacción de hidrolisis. En este caso el GH fue mayor cuando se trabajó con la enzima libre (7.9%). Sin embargo, una de las desventajas es que la enzima solo puede ser usada una vez debido a que no puede ser recuperada del medio de reacción. Por otra parte, cuando se hidrolizó la proteína del salvado de arroz con la enzima inmovilizada, fue posible usar 3 veces el sistema (enzima-fibra de celulosa), para lo cual se obtuvo un grado de hidrolisis de 4.9, 3.59 y 2.18 % respectivamente para el ciclo 1, 2 y 3 de reacción. La diferencia en el grado de hidrolisis con la enzima libre e inmovilizada puede ser debido a que la proteína del salvado de arroz después de ser liofilizada, presentó una pureza de alrededor del 44%, por lo que componentes tales como carbohidratos o grasa remanente, pueden haber causado bloqueos en el momento de llevar a cabo la reacción con el sistema enzima-fibra de celulosa. Este resultado demuestra que, si bien es una técnica prometedora, se deben realizar estudios de optimización de procesos previos para que la hidrólisis realizada por la enzima inmovilizada sea más eficiente. Por otra parte, se evidenció como los tallos de maracuyá (los cuales generalmente son quemados o dejados para descomposición en el lugar en el que se realiza la poda) puede ser valorizados de tal forma que se obtengan productos de mayor valor agregado.



CASO 3

Los perfiles cromatográficos del aceite macerado que se obtuvo en las condiciones optimizadas tienen los cinco principales compuestos generadores del olor del maracuyá fresco. Eso permite suponer que son una materia prima adecuada para la obtención de un encapsulado oleoso que sirva como aromatizante natural.

El mayor porcentaje de fibra dietaria (15.6%) se obtuvo al emplear agua como solvente, bajo la misma temperatura de extracción y de secado (60°C). Se seleccionó el agua como solvente para dar continuidad a los ensayos del diseño experimental. Siendo así modificadas las temperaturas de secado de la fruta y de extracción de fibra. La cantidad de fibra soluble obtenida a partir del albedo del maracuyá fue similar a la reportada en investigaciones similares en las cuales se estudió la extracción de fibra dietaria a partir del maracuyá (López-vargas et al., 2013; Matsuura, 2005). Los resultados preliminares presentados en estos estudios muestran el alto potencial de los residuos de maracuyá para obtener productos intermedios para la industria alimentaria, como lo son los aromatizantes encapsulados y concentrados ricos en fibra dietaria.

CASO 4

Los resultados técnicos, ambientales y económicos de los biocompuestos con fibra natural se compararon con el polietileno de alta densidad y el ácido poliláctico puros. En relación con las propiedades mecánicas de los biocompuestos, los valores obtenidos oscilaron entre los reportados para el polietileno de alta densidad y el ácido poliláctico. Los valores aumentaron la resistencia del polietileno de alta densidad hasta 3 veces cuando se incluyó un 30% de fibra. Aunque la resistencia disminuyó al adicionar un 40% de fibra, se mantuvo por encima de la del polietileno. Desde el punto de vista técnico, se muestra el potencial para usarlos en productos para empaques. Con este propósito, se evaluaron los aspectos ambiental y económico mediante la elaboración de una tapa de biocompuesto para frascos de café soluble u otros alimentos sólidos granulados. En cuanto al aspecto ambiental, se observó que el impacto de la tapa de biocompuesto disminuyó a medida que aumentó el porcentaje de fibra. Por otra parte, en relación con las fabricadas con los dos plásticos comerciales estudiados, el impacto de la tapa hecha con ácido poli láctico fue mayor para el cambio climático, mientras que para las de polietileno de alta densidad fue mayor con respecto al agotamiento de recursos fósiles. Por lo anterior, se evidenció que el uso de las fibras como material de relleno implicaría un beneficio ambiental respecto a los dos plásticos mencionados. Finalmente se hizo la evaluación económica simulada para la elaboración de las tapas. El valor unitario de la tapa de biocompuesto fue mayor que la fabricada con polietileno y disminuyó respecto a la hecha con ácido poliláctico. El mayor valor se explica por los procesos adicionales como los costos en la extracción, transporte y molienda de las fibras. Aunque, esto podría implicar un inconveniente en el uso de los residuos agroindustriales, se estima que, con el uso frecuente y mejora de la tecnología de extracción, a largo plazo, se disminuya esta diferencia. Algunos de los productos encontrados en el mercado catalogados de origen renovable y de bajo impacto ambiental tienen un precio mayor que los usuarios están



dispuestos a pagar. En el caso Colombiano la máquina empleada en el proceso de desfibrado la tienen los agricultores de la región que también se dedican a la extracción de fibras de fique/cabuya. Mediante las asociaciones se tienen facilidades para adquirir esta maquinaria. Se estima que por cada planta se pueden obtener 0.5 kg de fibra seca, que, de ser comercializable, implicaría un ingreso adicional para los agricultores.

CASO 5

Según los resultados obtenidos para la caracterización del almidón (tabla 8), se observó que la humedad (11%) fue mayor a la reportada para el almidón de otras fuentes tales como el maíz, el camote y el sagú, las cuales se encuentran entre el 8.99-10.5% de humedad (Hernández Medina, M Torruco Uco, Chel Guerrero, & Betancur Ancona, 2008), aunque la humedad del almidón de semilla de aguacate se encontró por debajo de la reportada por Betancur-Ancona (2001) para el almidón de papa, la cual se encontraba alrededor del 19% (Betancur, Ancona, Guerrero, Matos, & Ortiz, 2001). Por otra parte, la temperatura de gelatinización calculada (ver tabla 10) se encontró entre los valores reportados en la literatura (Hernández Medina, M Torruco Uco et al., 2008), los cuales generalmente se encuentran entre el 61 y el 78 %. La temperatura de gelatinización permite establecer la temperatura de procesamiento del almidón, lo que a su vez garantiza un mayor control durante el procesamiento del almidón.

En relación con la claridad de la pasta de almidón, esta es una de las principales propiedades consideradas en el momento de la fabricación de productos como aderezos de ensaladas y productos de confitería, cuando la claridad es mayor a 40%, se considera una pasta clara o transparente (Betancur et al., 2001). En el presente estudio, la claridad de la pasta de almidón a partir de la semilla de aguacate fue del alrededor del 41%, lo que la convierte en una pasta de alto interés. En lo referente a las propiedades de índice de adsorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento, los valores calculados para el almidón del presente estudio fueron $5.45 \pm 0,32$ g gel/g, $21,21 \pm 0,05\%$ y $0,17 \pm 0,01$ g agua/g almidón, respectivamente. Estos resultados se encontraron muy por debajo de los valores reportados en la literatura, que, según Aristizábal & Sánchez (2007), los almidones de baja calidad se caracterizan por su alta solubilidad, baja adsorción de agua y bajo poder de hinchamiento baja solubilidad (Vargas, Martínez, & Velezmoro, 2016), factores los cuales afectan directamente la calidad de la biopelícula.

Además de los parámetros analizados anteriormente, es importante hacer énfasis en el contenido de amilosa y amilopectina, puesto que estos influyen sobre propiedades fundamentales como la gelatinización, retrogradación, absorción y viscosidad de la pasta (Oñate, 2012). En este estudio el porcentaje de amilosa y amilopectina determinado para el almidón de la semilla de aguacate fue de 22,3 y 77,7, respectivamente. Una vez extraído y caracterizado el almidón, se procedió con la elaboración y caracterización de la biopelícula.

Antes de determinar las formulaciones finales para la elaboración de la biopelícula, se evaluó su formación empleando diferentes concentraciones de ácido acético, NaOH, y variando la masa de



celulosa adicionada a la mezcla. Para establecer la influencia de estos ingredientes, se realizaron varias pruebas, en donde se evidenció que tanto la celulosa como el ácido acético no favorecían la formación de la película. Para esto, se decidió trabajar con formulaciones en las cuales no se adicionen tales ingredientes.

La solubilidad de las biopelículas es una de las características más importantes, ya que esta influye en el empaquetado de los alimentos. En el presente caso de estudio, la solubilidad en agua de la biopelícula fue de $39,4 \pm 8,7$ %, con un espesor de 0.54 mm, siendo mayor a la reportada en otros trabajos (ver tabla 10). Por ejemplo, Hernández (2016) obtuvo plásticos biodegradables a partir del almidón de papa con una solubilidad en agua de 7,22% y espesor $26,805 \pm 3.00$ μm (Hernández, 2016). Por otra parte, López y Castillo (2019) reportaron una solubilidad de agua de 16,9% con un espesor de 55,8 μm , para un bioplástico obtenido a partir de Agave, pectina-alginato (López & Castillo, 2018).

La biodegradabilidad es el resultado de la degradación causada por la acción de microorganismos, y esta puede ser aerobia o anaerobia. En la biodegradabilidad aerobia, los microorganismos como bacterias y hongos consumen el material orgánico, convirtiendo el carbono en parte de biomasa celular y otra parte en CO_2 , mientras que el hidrógeno es convertido en moléculas de agua. Por otra parte, la biodegradabilidad anaerobia se lleva a cabo la ausencia total de oxígeno, dando como resultado biogás, minerales y biomasa (Erazo Pèrez, 2018). En el presente caso de estudio, se evaluó la biodegradabilidad anaerobia de la biopelícula durante 45 días, obteniéndose un valor de 21 ± 7 (%). Este porcentaje de biodegradabilidad se encontró por debajo de algunos trabajos reportados en la literatura. Tal es el caso de Charro (2015) quien reportó un porcentaje de biodegradabilidad del 90.4% para un bioplástico de almidón de papa (Charro Espinosa, 2016), y de Meza et al. (2019), quienes reportaron un porcentaje de biodegradabilidad del 63.2% para un bioplástico obtenido a partir de la cascara de papa (Meza Ramos, Quipuzco Ushñahua, & Meza Contreras, 2019).

El almidón extraído a partir de la semilla del aguacate es una alternativa viable para la producción de biopelículas, aunque es necesario realizar más pruebas con el fin de obtener una biopelícula de mayor calidad.



Conclusiones

Los desechos de frutas y hortalizas se producen en cantidades considerables en actividades agrícolas, agroindustriales, de comercialización y de consumo.

En el proyecto “Productividad y competitividad frutícola Andina” se analizaron numerosas alternativas para aprovechamiento económico y disminución del impacto ambiental de los residuos generados en las etapas de las cadenas frutícolas de cítricos, aguacate y pasifloras. Para los cítricos se hicieron estudios específicos que serán parte de otra monografía, y han sido publicados en revistas científicas reconocidas a nivel mundial (Ortiz, D. et al., 2020, Ortiz-Sánchez, M. et al., 2020). En este documento se reportan algunas de las iniciativas propuestas para usar residuos poscosecha o agroindustriales provenientes del maracuyá, banano/plátano y aguacate. En todos los estudios se hicieron las caracterizaciones de los residuos y productos, se propusieron procesos de agregación de valor y se hicieron análisis técnicos, económicos y ambientales de varios de esos procesos y productos.

En la industria, la generación de estos residuos aumenta los costos operativos principalmente por los costos de transporte y disposición. Para los industriales y otros grupos de interés en las cadenas frutícolas Andinas estudiadas queda disponible la información citada acerca de las alternativas que, de ser implementadas, le permitirían a la fruticultura regional dar un paso adelante en su competitividad y hacer un importante aporte al alcance los objetivos de desarrollo sostenible.



Referencias Bibliográficas

- Agronet. (2018). Reporte: Área, Producción y Rendimiento Nacional por Cultivo. Retrieved from <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>
- Alder-Nissen, J. (1986). Enzymic hydrolysis of food proteins. In *Elsevier Applied Science Publisher*, New York.
- ASTM_D638-14. (2014). *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*.
- Bassan, J., de Souza Bezerra, T., Peixoto, G., da Cruz, C., Galán, J., Vaz, A., ... Monti, R. (2016). Immobilization of Trypsin in Lignocellulosic Waste Material to Produce Peptides with Bioactive Potential from Whey Protein. *Materials*, 9(5), 357. <https://doi.org/10.3390/ma9050357>
- Betancur, D. A., Ancona, L. A., Guerrero, R. I., Matos, G. C., & Ortiz, D. (2001). Caracterización fisicoquímica y funcional del almidón de frijol lima (*Phaseolus lunatus*). *Revista La Fuerza de Almidón*, 53(5), 219–226.
- Bezerra, T. M. D. S., Bassan, J. C., Santos, V. T. D. O., Ferraz, A., & Monti, R. (2015). Covalent immobilization of laccase in green coconut fiber and use in clarification of apple juice. *Process Biochemistry*, 50(3), 417–423. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2014.12.009>
- Bradford, M. (1976). Rapid and sensitive method for quantification of microgram quantities of protein utilizing principle of protein-dye-binding. *Analytical Biochemistry*, 248–254.
- Cañas Angel, Z., Restrepo Molina, D. A., & Cortès Rodriguez, M. (2011). Revisión : Productos Vegetales como Fuente de Fibra Dietaria en la Industria de Alimentos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 64(1), 6023–6035.
- Charro Espinosa, M. (2016). *Elaboración de bioplásticos a partir de almidón residual obtenido de peladoras de papa y determinación de su biodegradabilidad a nivel de laboratorio*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- David, E. (2015). Mechanical strength and reliability of the porous materials used as adsorbents/catalysts and the new development trends. *Materials Science*, 73(1), 5–17.
- Deng, G.-F., Shen, C., Xu, X.-R., Kuang, R.-D., Guo, Y.-J., Zeng, L.-S., ... Li, H.-B. (2012). Potential of Fruit Wastes as Natural Resources of Bioactive Compounds. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(7), 8308–8323. <https://doi.org/10.3390/ijms13078308>



- Di Donato, P., Fiorentino, G., Anzelmo, G., Tommonaro, G., Nicolaus, B., & Poli, A. (2011). Re-Use of Vegetable Wastes as Cheap Substrates for Extremophile Biomass Production. *Waste and Biomass Valorization*, 2(2), 103–111. <https://doi.org/10.1007/s12649-011-9062-x>
- El-Sakhawy, M., & Hassan, M. L. (2007). Physical and mechanical properties of microcrystalline cellulose prepared from agricultural residues. *Carbohydrate Polymers*, 67(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.04.009>
- Erazo Pèrez, M. . (2018). *Evaluación del comportamiento de Aspergillus niger y Penicillium spp en la degradación de bioplástico elaborado a partir de almidón de cáscara de plátano*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- FAO. (2015). FAO: Save Food: Global Initiative on Food Loss and Waste Reduction.
- González-Bacerio, J., & Moreno-Medina, Víctor Ricardo Martínez, A. del M. (2010). Las lipasas: enzimas con potencial para el desarrollo de biocatalizadores inmovilizados por adsorción interfacial. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 12(1), 124–140.
- Hernández, K. A. (2016). *Formulación y Caracterización de Películas Comestibles de Almidón de Papa Nativo y Modificado*.
- Hernández Medina, M Torruco Uco, J. G., Chel Guerrero, L., & Betancur Ancona, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 28, 718–729.
- Huang, Y., & Lai, H. (2016). Bioactive compounds and antioxidative activity of colored rice bran. *Journal of Food and Drug Analysis*, 4(1), 564–574.
- ISO 14040. (2006). *ISO 14040:2006 Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework*. Retrieved from <https://www.isotools.org/normas/>
- Jonoobi, M., Harun, J., Shakeri, A., Misra, M., & Oksmand, K. (2009). Chemical composition, crystallinity, and thermal degradation of bleached and unbleached kenaf bast (*Hibiscus cannabinus*) pulp and nanofibers. *BioResources*, 4(2), 626–639. <https://doi.org/10.15376/biores.4.2.626-639>
- Knezevic, Z., Milosavic, N., Bezbradica, D., Jakovljevic, Z., & Prodanovic, R. (2006). Immobilization of lipase from *Candida rugosa* on Eupergit® C supports by covalent attachment. *Biochemical Engineering Journal*, 30(3), 269–278. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bej.2006.05.009>



- Liu, G., Xu, X., Gong, Y., He, L., & Gao, Y. (2012). Effects of supercritical CO₂ extraction parameters on chemical composition and free radical-scavenging activity of pomegranate (*Punica granatum* L.) seed oil. *Food and Bioproducts Processing*, 90(3), 573–578. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.11.004>
- López-vargas, J. H., Fernández-lópez, J., Pérez-álvarez, J. A., & Viuda-martos, M. (2013). Chemical, physico-chemical, technological, antibacterial and antioxidant properties of dietary fiber powder obtained from yellow passion fruit (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*) co-products. *FRIN*, 51(2), 756–763. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.01.055>
- López, A., & Castillo, Z. (2018). Fabricación de plásticos biodegradables a base de pectina-alginato y polímeros de Agave para su utilización en la industria alimentaria. Investigación. *Investigación y Desarrollo En Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 678–691.
- Machado, A., Tavares, A. P. M., Rocha, C. M. R., Cristóvão, R. O., Teixeira, J. A., & Macedo, E. A. (2012). Immobilization of commercial laccase on spent grain. *Process Biochemistry*, 47(7), 1095–1101. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2012.03.021>
- Macrae, A. R., & Hammond, R. C. (1985). Present and Future Applications of Lipases. *Biotechnology and Genetic Engineering Reviews*, 3(1), 193–218. <https://doi.org/10.1080/02648725.1985.10647813>
- Malacrida, C. R., & Neuza, J. (2012). Yellow passion fruit seed oil (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*): physical and chemical characteristics. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 55, 127–134. Retrieved from http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-89132012000100016&nrm=iso
- Matsuura, F. (2005). *Estudo do albedo de maracujá e de seu aproveitamento em barra decereais*. Universidade Estadual de Campinas.
- Meza Ramos, P., Quipuzco Ushñahua, L., & Meza Contreras, V. (2019). Elaboración de bioplásticos y determinación de su biodegradabilidad. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 22(43).
- Oliveira, D. A., Angonese, M., Gomes, C., & Ferreira, S. R. S. (2016). Valorization of passion fruit (*Passiflora edulis* sp.) by-products: Sustainable recovery and biological activities. *The Journal of Supercritical Fluids*, 111, 55–62. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2016.01.010>
- Oñate, M. (2012). *Relación entre algunas propiedades fisicoquímicas térmicas de gelatinización y retrogradación en almidón de papa nativa de Chiloé*. Universidad Austral de Chile.



- Paima Quevedo, C. (2009). *Extracción de aromas vegetales, técnicas y comercialización*. Retrieved from <http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/1925/T-665.3-P17.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Prazeres, J. N. dos, Cruz, J. A. B., & Pastore, G. M. (2006). Characterization of alkaline lipase from *Fusarium oxysporum* and the effect of different surfactants and detergents on the enzyme activity. *Brazilian Journal of Microbiology*, 37, 505–509. Retrieved from http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-83822006000400019&nrm=iso
- Rodriguez-Restrepo, Y. A., & Orrego, C. E. (2020). Immobilization of enzymes and cells on lignocellulosic materials. *Environmental Chemistry Letters*, 18, 787–806. <https://doi.org/10.1385/0-89603-386-4:319>
- Rowell, J. S. H. and J. S. (1997). Chemical Composition of Fibers. *Paper and Composites from Agro-Based Resources*, 83–184.
- Sánchez, F. D. de L., Zaldívar, C. P., Buendía, H. E., Perrino, J. F. F., Cabrera, F. R., Volante, B. B., & Flores, L. J. P. (2006). El aroma de las frutas. *ContactoS*, 61, 32–39.
- Standard ANZ. (1999). *Life cycle costing: an application guide*. Standards New Zealand.
- Statista. (2018). Statista: Global fruit production in 2018, by variety (in million metric tons). Retrieved November 8, 2020, from <https://www.statista.com/statistics/264001/worldwide-production-of-fruit-by-variety/>
- Townsend, T. (2020). 40 Million Households Produce Natural Fibres.
- Vargas, G., Martínez, P., & Velezmoro, C. (2016). Propiedades funcionales de almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y su modificación química por acetilación. *Scientia Agropecuaria*, 223–230.
- Wang, X., Chen, H., Fu, X., Li, S., & Wei, J. (2017). A novel antioxidant and ACE inhibitory peptide from rice bran protein: biochemical characterization and molecular docking study. *LWT - Food Science and Technology*, 75, 93–99.
- Wu, D., Zhou, J., & Li, Y. (2007). Mechanical strength of solid catalysts: Recent developments and future prospects. *AIChE Journal*, 53(10), 2618–2629. <https://doi.org/10.1002/aic.11291>
- Zhao, Q., Xiong, H., Selomulya, C., Dong, X., Zhong, H., Wang, S., ... Zhou, Q. (2012). Enzymatic hydrolysis of rice dreg protein : Effects of enzyme type on the functional properties and



antioxidant activities of recovered proteins. *Food Chemistry*, 134(3), 1360–1367.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.03.033>



Tabla de indicadores

Indicador detalle	Unidad del Indicador	Valor antes del proyecto	Valor después del proyecto*
Procesos de residuos agrícolas	Número de procesos	0	1
Prototipo de producto basado en residuos agrícolas	Número de prototipos	0	7



Instituciones participantes



Secretaría Técnica Administrativa



Con el apoyo de:



www.fontagro.org

FONTAGRO
Banco interamericano de Desarrollo
1300 New York Avenue, NW, Stop
W0502, Washington DC 20577
Correo electrónico: fontagro@iadb.org