

Innovación en el tratamiento de la fibra prensada de la palma de aceite mediante la separación de su fase granular*

Innovation in the Treatment of Oil Palm Pressed Fiber through the Separation of its Granular Phase

CITACIÓN: Niño-M., A. F., Cadena-G., O., Pineda-R., J. K., Latorre-R, S. J., Rojas-R., O. J., Durán-S., C. E. & Mateus-J., L. A. Innovación en el tratamiento de la fibra prensada de la palma de aceite mediante la separación de su fase granular. *Palmas*, 42(1), 29-42.

PALABRAS CLAVE: Plantas beneficio de aceite de palma, Valorización de subproductos, Fibra de mesocarpio prensada, Alimentación de ganado bovino y NutPalm.

KEYWORDS: Palm oil mill, By-product recovery, Oil palm fiber, Cattle feed, NutPalm.

* Artículo de investigación científica y tecnológica.

RECIBIDO: julio de 2020.

APROBADO: septiembre de 2020.

NIÑO M. ANDRÉS F.

Departamento de I+D+i, Phina Biosoluciones S. A. S.

CADENA G. OMAR

Gerencia General, Phina Biosoluciones S. A. S.

PINEDA R. JULIETH K.

Unidad de Innovación, Penagos Hermanos S. A. S.

LATORRE R. SERGIO J.

Unidad Científica, Nutratch S. A. S.

ROJAS R. OSCAR J.

Departamento de Diseño e Ingeniería, Phina Biosoluciones S. A. S.

DURÁN S. CHRISTIAN E.

Unidad de Innovación, Penagos Hermanos S. A. S.

MATEUS LUIS A.

Departamento de I+D+i, Phina Biosoluciones S. A. S.

Resumen

El sector palmicultor es un renglón importante en la economía colombiana, siendo el fruto de la palma de aceite la principal materia prima en el proceso industrial de extracción de aceite rojo o de palma, que a su vez genera subproductos como la fibra de mesocarpio. Este es uno de los principales residuos del proceso, el cual durante años ha sido ignorado por la industria, lo que representa costos logísticos para su disposición final y afecta de manera negativa al medio ambiente. Sin embargo, a partir de la investigación desarrollada por Phina Biosoluciones S. A. S. y Agroince Ltda. se creó y patentó un proceso de separación de la fracción granular de la fibra de

mesocarpio denominado NutPalm. A partir de los resultados obtenidos se validó que esta tecnología agrega valor, pues transforma en materia prima para alimentación animal hasta un 60 % del flujo másico de la fibra que se dispone en campo, convirtiéndose en una nueva fuente de ingresos para las plantas de beneficio y en una alternativa para la disminución del impacto ambiental sobre el ecosistema de las plantaciones.

En este sentido la presente investigación se realiza con la finalidad de demostrar que la fracción granular proveniente de la fibra de mesocarpio prensada de palma de aceite puede ser utilizada en la alimentación animal obteniendo resultados competitivos.

Abstract

The palm sector is one of the most influential in the Colombian economy, the fruit of the oil palm is the main raw material in the industrial process of extraction of palm oil, that processes high quantities of raw material that in turn generate by-products. Such as mesocarp fiber, one of the main residues of the process, which for years has been ignored by the industry, the fiber represents logistical costs for its final disposal and negatively affecting the environment. However, the research carried out by Phina Biosoluciones S. A. S. and Agroince Ltda., a process for separating the granular fraction of the mesocarp fiber called NutPalm they could create and patent a new process. From the results obtained, it was validated that the technology adds value, transforming up to 60% the mass flow of the fiber available in the field into raw material for animal feed, it became a new source of income for palm extraction plants of oil and an alternative to reduce the environmental impact on the plantation ecosystem.

In this sense, the present investigation was carried out in order to demonstrate that the granular fraction from the pressed mesocarp fiber of the oil palm can be used in animal feed, obtaining competitive results.



Introducción

La industria palmera se desarrolla en diferentes países de África, América y Asia, siendo uno de los cultivos de mayor producción de aceite por hectárea sembrada en el mundo, lo que permite vincular a diferentes poblaciones dentro del proceso productivo y, de igual modo, favorece el incremento efectivo de los productos y residuos provenientes del proceso de extracción de aceite (Fedepalma, 2015). Estos factores han contribuido al crecimiento del número de cultivos, de la cantidad de plantas de beneficio en operación y del aceite rojo.

Colombia es uno de los principales productores mundiales de aceite donde existen 64 plantas de beneficio, las cuales son las encargadas de obtener el aceite crudo, utilizando el fruto de la palma *Elaeis guineensis* como materia prima (Aldana y Crespo, 2018). En el

proceso de extracción se generan cantidades significativas de subproductos que no son aprovechados en su totalidad, por lo tanto, para la mayoría de plantas se han convertido en una fuente de residuos que afectan de manera negativa el medio ambiente y generan costos de disposición que disminuyen la productividad y la competitividad del sector.

Es el caso particular de la fibra de mesocarpio, la cual se ha destacado por su capacidad calorífica, lo que le ha permitido convertirse en el principal combustible orgánico que alimenta las calderas productoras de vapor y energía de cualquier planta de beneficio, y que además, contiene características bromatológicas que podrían ser aprovechadas en la alimentación de rumiantes, pero que en este caso presenta una deficiencia nutricional relacionada con la dificultad para ser digerida debido a los niveles de pared celular y a su contenido de nitrógeno (Beltrán, 1999).

Teniendo en cuenta los ejemplos anteriores, diferentes actores del sector de la palma de aceite han buscado aprovechar algunos de sus subproductos. Es así como la empresa de base tecnológica Phina Biosoluciones S. A. S. y Agroince Ltda., a partir de varias investigaciones, decidieron crear el proceso de obtención del NutPalm, un material granular obtenido a partir de la fibra prensada, que busca agregar valor a un subproducto a través de su uso en la suplementación animal, en el caso puntual de esta investigación, en la alimentación de ganado bovino. Esto se ha traducido en oportunidades de negocio sostenible y procesos de producción limpia para la agroindustria de la palma de aceite.

Debido a su carácter inventivo y a su impacto social, económico y ambiental en el sector palmero, la tecnología para la obtención de NutPalm ha sido cofinanciada por actores del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCTI) como el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) Estratégica de Oriente y el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias), fortaleciendo con esto el proceso de maduración de esta tecnología.

Metodología

El *Design Thinking* o pensamiento de diseño ha sido considerado un proceso útil en diferentes disciplinas: en el sector manufacturero, en el diseño de nuevos productos (Lockwood, 2010), en la gestión de la práctica legal, en la banca, en el desarrollo de *software*, en el diseño de nuevos dispositivos electrónicos, en la gestión del *Big Data*, en la aeronáutica, en las telecomunicaciones, en el sector alimenticio, en el energético, en el farmacéutico, en la agroindustria (Purnomo, Bunyamin, Nawawi, Danuwidjadja y Izzatulloh, 2020) y en procesos orientados a la innovación social. En general, se ha integrado en la práctica de la gestión organizativa, convirtiéndose en una herramienta clave en el contexto empresarial, al influenciar el diseño de estrategias de desarrollo social y tecnológico.

De acuerdo con Brown (2018) pensar como un diseñador puede transformar la forma en que se desarrollan los productos, servicios y procesos. El pensamiento de diseño se realiza de manera iterativa y no lineal en tres etapas: 1) entender las circunstancias, ya

sean un problema o una oportunidad, que motiva la búsqueda de soluciones; 2) idear o explorar el proceso de generar, desarrollar y probar ideas que pueden conducir a soluciones; y 3) implementar o materializar, el trazado de una ruta al mercado (Brown, 2018; Macedo y Casarotto Filho, 2015).

En coherencia con lo anterior, el pensamiento de diseño es una herramienta aplicable en la creación de nuevos productos y procesos relacionados con las grasas y aceites, la alimentación animal, el manejo de residuos y la agroindustria en general, por este motivo la metodología para la investigación se fundamentó estructuralmente en la filosofía *Design Thinking*, planteándose tres etapas generales para el desarrollo del proyecto: 1) entender, 2) explorar y 3) materializar (Figura 1). Cada una tiene asociado el cumplimiento de los objetivos de investigación, así como las herramientas y los conceptos técnicos obtenidos como resultado de la revisión bibliográfica.

Para la primera etapa: entender, se realizó una fase de inmersión dentro del proceso de extracción de la palma de aceite. A partir de la observación se identificó la heterogeneidad de la fibra prensada, por tanto, se tomaron muestras de diferentes plantas de beneficio del país, incluyendo tres que utilizan como materia prima únicamente fruta proveniente de materiales *guineensis* y dos que procesan variedades OxG. Posteriormente, se realizaron pruebas preliminares de laboratorio y se obtuvieron manualmente muestras de la fracción granular de la fibra proveniente de cada planta. Adicionalmente, se realizó una revisión bibliográfica que facilitó tanto la comprensión de los procesos, los subproductos, los posibles usos, así como su composición teórica.

En la segunda etapa: explorar, se revisó la posibilidad de separar la fracción granular de la fibra a mayor escala, a través del diseño y construcción de prototipos manuales y mecanizados para extraer el material a grandes volúmenes, luego de realizar pruebas nutricionales y utilizarlo como materia prima en la producción de fórmulas alimenticias o concentrados.

En la etapa final: materializar, una vez se identificaron los componentes nutricionales del NutPalm, como se le denominó a la fracción granular de la fibra, se procedió al desarrollo de pruebas de palatabilidad y ganancia en peso de bovinos, utilizando suplementos a base del mismo.

Figura 1. Estructura metodológica: diseño del proyecto de investigación centrado en el pensamiento de diseño o *Design Thinking*



Resultados

El fundamento teórico del proyecto se deriva principalmente de documentación científica indexada en Scopus, la base de datos consultada. Para el estudio de los documentos se definió un protocolo de revisión de literatura, siguiendo la metodología de Randolph (2009), la cual orientó el análisis de los resultados y la identificación del marco de referencia, que se dividió en tres aspectos: subproductos de palma de aceite, tratamientos de la fibra de mesocarpio y suplementación con subproductos derivados de la industria del aceite de palma. La ecuación seleccionada ((feed*OR nutrition OR supplement* OR bolster OR give OR maintain OR nourish OR provide OR supply OR satisfy OR fatten OR nurture) AND (products OR byproducts OR derivative OR offshoot) AND (“oil palm” OR “palm oil”) AND (bovine OR beef OR cattle)) permitió obtener 53 artículos, a los cuales se les realizó una prueba de calidad al leer títulos, resumen y conclusiones, quedando para el análisis completo un total de 13 que abordaban la temática de interés y algunos que se añadieron mediante la técnica bola de nieve.

De acuerdo con lo identificado en las bases de datos, la palma africana es uno de los cultivos de mayor expansión en el mundo, con un crecimiento promedio anual de área cultivada por encima del 5 %, durante los últimos 5 años. En 2017, se produjeron

67 millones de toneladas de aceite de palma, aproximadamente, según el Departamento de Agricultura de Estados Unidos, siendo Indonesia, Malasia y Tailandia los principales productores con un 88,5 % del total. La palma de aceite da el segundo tipo de aceite con mayor volumen de producción y es la planta más productiva del planeta, una hectárea sembrada genera entre 6 y 10 veces más aceite que las demás oleaginosas (Aldana y Crespo, 2018).

En Colombia, existen aproximadamente 64 plantas de beneficio, las cuales suman una capacidad instalada de alrededor de 6.049 toneladas de racimos de fruta fresca (RFF)/hora (Aldana y Crespo, 2018). A medida que se incrementa la producción de RFF en dichas plantas, aumenta el volumen de desechos o subproductos, los cuales requieren de un tratamiento para reducir la contaminación ambiental generada por la descomposición de los residuos (Aldana y Crespo, 2018).

Los RFF de la palma de aceite son la materia prima principal en el proceso de extracción de aceite rojo o de palma, este genera corrientes de subproductos sólidos y líquidos que representan hasta un 80 % del peso sobre RFF, algunos de los subproductos orgánicos más representativos son el raquis o tusa (racimos vacíos), los efluentes líquidos, la fibra de mesocarpio prensado o fibra de fruta (FF), las cenizas, la harina o torta de palmiste y los efluentes líquidos.

Los RFF se esterilizan, desfrutan y prensan para extraer el aceite, dejando así 20 kg de raquis y 14 kg de mesocarpio prensado o fibra de fruta por cada 100 kg de RFF que ingresan al proceso (García *et al.*, 2010). A partir de lo anterior, se evidencia que en términos de volumen, uno de los principales retos de la industria es el manejo de la fibra, por tanto, se convierte en el foco de análisis de las investigaciones de Phina Biosoluciones S. A. S. y Agroince Ltda.

La fibra de mesocarpio prensada se genera al someter los frutos de la palma a altas presiones con el uso de prensas de tornillo, con lo cual, se extrae el aceite rojo y se obtiene como subproducto la pulpa seca o fibra de mesocarpio. Esta representa entre el 11 % y el 17 % sobre RFF y es utilizada generalmente como combustible de las calderas de vapor (Wambeck *et al.*, 2005).

Las necesidades de vapor en una planta de beneficio se satisfacen con la combustión del 50 % de la fibra, y el 50 % restante generalmente es dispuesta en campo con la finalidad de liberar sus nutrientes, supliendo las necesidades nutricionales del suelo (Wambeck *et al.*, 2005; Calimán *et al.*, 2001); sin embargo, las investigaciones han identificado deficiencias microbianas, que conllevan a tiempos de proceso de hasta 1 año y bajos porcentajes de fijación de nutrientes en el suelo, es decir, no se cumple el objetivo de fertilización (Chiew, 2013; García, 2010). Entonces se concluye que la disposición es un proceso inviable debido a que no agrega valor al suelo y sí representa costos asociados al transporte y a la mano de obra para su disposición final.

Otras alternativas utilizadas para tratar la fibra han sido el compostaje, la amonificación (Cuesta, 2000) y el consumo directo de la fibra para alimentación animal en razón a su apariencia similar a pastos secos; sin embargo, estas alternativas no han logrado posicionarse en la práctica debido principalmente a: 1) las grandes inversiones que requiere una planta de compostaje, 2) las altas temperaturas de la fase exotérmica del proceso que limita el crecimiento de distintas clases de bacterias que tienen la capacidad de metabolizar la lignina y celulosa presente en la fibra y 3) el elevado contenido de fibra cruda y lignina que hacen lenta e ineficiente la digestión de la fibra (García, 2010).

Según Cuesta (2000) la amonificación apunta a ser una solución al problema de digestibilidad, pues en

dicho proceso se mezcla la fibra con sustancias nitrogenadas como la urea (en concentraciones entre el 5 al 10 %) o el sulfato de amonio (entre 10 al 15 %). Esta mezcla fibra-nitrógeno aumenta la calidad nutricional en 20 % y la digestibilidad en la fibra en 40 %, pues al elevar el nitrógeno dentro del cuerpo del animal facilita el crecimiento microbiano relacionado con el rumen bovino y el aprovechamiento de nutrientes (a mayor desarrollo microbiano, mayor velocidad de descomposición del material fibroso).

A pesar de los resultados obtenidos, la tecnología no ha logrado ser escalable a un entorno relevante debido a que el mezclado mecánico de la fibra prensada con las sustancias nitrogenadas implica altas inversiones, que han hecho inviable la llegada de esta tecnología al mercado (Cuesta *et al.*, 2000).

En paralelo, se ha identificado un aumento en la demanda de proteína animal como alimento para humanos (FAO, 2019; Devendra, 2011), por esta razón, se busca identificar nuevas fuentes de alimentación que suplan los volúmenes que se requieren de ganado bovino, porcino, avícola, entre otros.

Debido a la tolerancia de niveles superiores del 20 % de fibra cruda, los rumiantes han sido el mercado objetivo de la industria de aceite, que apunta a ser el mayor oferente de la materias primas para alimentación animal en continentes como Asia y Oceanía, debido al volumen, costo y calidad de subproductos orgánicos que genera, con los cuales, se ha logrado diseñar y probar dietas conformadas por hasta un 85 % (de composición másica) de subproductos de la palma en una solución viable para la alimentación de rumiantes (Institut Penyaledikan Minyak Kelapasawit Malaysia, 1992).

Adicionalmente, Durán *et al.* (1990) y Durán (1994) también afirmaron que utilizar los subproductos del procesamiento de extracción de aceite como fuente energética en programas de alimentación animal, en el caso de los cerdos de engorde, ha demostrado ser viable y presenta ventajas económicas, a causa de que existe la necesidad de alimentar una población creciente y esto ha generado una presión constante en las producciones con animales, la cría industrial de pollos, cerdos y peces que están en continua expansión y su crecimiento depende en una gran proporción de la disponibilidad de fuentes de proteínas (Caruso *et al.*, 2014).

En coherencia con lo anterior y como se ha descrito previamente, se han desarrollado diversas metodologías para tratar o agregar valor a la fibra. Una de las soluciones no exploradas ha sido la separación de la fracción granular de la fibra de mesocarpio denominada NutPalm, con la cual, se obtiene un insumo con características bromatológicas, comerciales y físicoquímicas, comparables con la torta de palmiste. Esta última, es un subproducto utilizado frecuentemente en la alimentación de ganado bovino en Colombia y en otras partes del mundo donde la industria hace presencia.

Según Nugli (2018) en Papúa Nueva Guinea, país de donde se originó la palma africana, al utilizar la metodología de ciclo pastoreo en híbridos de ganado Droughtmaster y Brahman se utilizan fórmulas de alimentación donde la torta de palmiste representa entre un 70 % y 80 % de la composición, desplazando a otras materias primas de la agroindustria local como la cascarilla de arroz, la pulpa de café y las molindas de trigo y cacao, debido a su competitividad en precio, volumen y rendimientos.

Con esta investigación fue posible concluir que el desarrollo de la tecnología de separación de la fracción de fibra de mesocarpio (obtención de NutPalm) agrega valor a cerca del 30 % del flujo de la fibra total, convirtiéndola es una fuente de alimentación alternativa para la industria de producción animal. En la primera etapa de la investigación se realizó una fase de inmersión dentro del proceso de extracción de la palma de aceite, y a partir de la observación se identificó que la fibra de mesocarpio prensada era una mezcla sólida heterogénea, es decir, este subproducto estaba conformado por hebras de tejido vegetal y celdas que almacenaban aceite; estas últimas estaban presentes en la pulpa del fruto, tenían un aspecto granular, sabor dulce y apariencia aceitosa.

Se tomaron muestras de NutPalm de cinco plantas de beneficio del país; aprovechando su naturaleza granular, densidad y tamaño de partícula, fue posible obtenerlas a través del uso de mallas de filtro de cocina (primer prototipo manual a escala de laboratorio). Posteriormente, estas fueron analizadas bromatológicamente y comparadas con la fibra de mesocarpio en términos de contenido de humedad, ceniza, grasa, proteína cruda, fibra cruda, fibra en detergente ácido (FDA) y fibra en detergente neutra (FDN).

Lo anterior se realizó teniendo en cuenta que la caracterización nutricional de un producto dirigido a la alimentación animal se desarrolla principal e inicialmente mediante análisis bromatológicos, por esta razón, se contrataron los servicios tecnológicos de un laboratorio de alimentos certificado (Laboratorio de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos (CICTA), acreditado según el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia), que ha diseñado cada uno de sus experimentos, según la normativa NTC 1363 del 2017. De igual manera, la selección de muestras se realizó tomando como base las metodologías de muestreo de sólidos presentes en el *Manual de procedimientos de laboratorio en plantas de beneficio* de Cenipalma, de acuerdo con esto se consideró que cada muestra era representativa y aleatoria.

Los datos obtenidos, tanto para el NutPalm extraído como para la fibra prensada, fueron promediados y tabulados para su análisis (Tabla 1), lo que evidenció que el material granular presentaba un mayor contenido de grasa y proteína respecto a la fibra de mesocarpio, así como, valores inferiores de fibra cruda, FDA y FDN. Lo anterior permitió concluir que era un material con alto potencial de uso debido a su velocidad de degradación y propiedades nutricionales. De forma análoga, se tomaron muestras de torta de palmiste en cuatro de las cinco plantas de beneficio para analizar su comportamiento nutricional en términos de contenido de humedad, cenizas, grasa, proteína cruda, fibra cruda, carbohidratos totales y valor calorífico, los resultados de dichos análisis fueron promediados y comparados con el NutPalm (Tabla 2).

El resultado de las pruebas bromatológicas y el uso tradicional de la torta de palmiste como materia prima para alimentación bovina permitió inferir que el NutPalm podía tener un aprovechamiento similar, por tanto, se dio continuidad a la segunda etapa de la investigación donde se exploraron y desarrollaron prototipos y pruebas para validar su comportamiento a mayor escala; de acuerdo con esto, se continuó la investigación realizando pruebas de granulometría con las diferentes muestras de fibra prensada.

Para lo anterior, se utilizó una zaranda mecánica para estratificar las sustancias, identificar las fracciones másicas presentes en la fibra de mesocarpio y determinar la representatividad del NutPalm sobre el

total del caudal de fruta procesada para cada una de las plantas de beneficio analizadas. Como resultado, se determinó que el material granular en base húme-

da del 30 % podía representar entre 18 % a 38 % total de la fibra de mesocarpio prensada, o entre un 2,4 % a 4,4 % del total de un RFF (Tabla 3).

Tabla 1. Comparativo de datos bromatológicos promedio para el material granular NutPalm separado a mano y la fibra de mesocarpio prensado

Resultados promedio del análisis bromatológico				
Parámetros	Fibra mesocarpio	Desviación estándar	NutPalm	Desviación estándar
% humedad	20,6	4,43	12,84	3,21
% ceniza	4,9	2,12	10,23	2,87
% grasa	4,1	1,67	10,91	3,45
% proteína	5,9	1,98	9,07	1,28
% fibra cruda	31,7	4,67	22	4,12
% FDN	66	6,4	43	3,6
% FDA	42	5,2	34	3,1

Tabla 2. Análisis bromatológico NutPalm separado a mano vs. torta de palmiste

Resultados promedio del análisis bromatológico				
Parámetros	Torta de palmiste	Desviación estándar	NutPalm	Desviación estándar
% humedad	9,5	1,12	12,84	3,21
% ceniza	5,21	1,88	10,23	2,87
% grasa	9, 12	1,5	10,91	3,45
% proteína	12,5	2,25	9,07	1,28
% fibra cruda	20	10,67	22,3	4,12
Carbohidratos totales	45	4,78	56,95	6,81
Valor calorífico (kcal/100g) energía bruta	359,02	30,12	362,27	27,81
Energía aprovechable (kcal/100 g)	253,47	30,12	243,97	27,81

Tabla 3. Resultados prueba granulometría granulada presente en fibra de mesocarpio

Granulometría promedio								
Tamiz 1	Desviación estándar	Coficiente de desviación	Tamiz 2	Desviación estándar	Coficiente de desviación	Tamiz 3	Desviación estándar	Coficiente de desviación
38,21 %	4,56	10,46 %	33,18 %	5,32	16,03 %	18,07 %	2,19	12,11 %

Al evidenciar la representatividad de NutPalm sobre el flujo total de fibra, se decidió nuevamente validar las propiedades bromatológicas del material en conjunto con la empresa Agroince Ltda. Se tomaron 30 muestras de mayor volumen (1.300 kg en promedio de fibra prensada diariamente). Para lo anterior se desarrolló un prototipo de sistema de extracción manual (segundo prototipo manual) conformado por dos tamices tipo angeo ubicados en serie y con calibre de malla distinto, con el cual, se separó el granulado para posteriormente ser expuesto a la radiación solar con el fin de secar el material. De esta manera fue posible elevar la cantidad de fibra analizada (40 kg de granulado en promedio/día durante un mes), disminuir el tiempo de separación de mayores caudales y aumentar tanto la frecuencia como el tiempo de muestreo.

Al subir la cantidad de la muestra se validó que las propiedades bromatológicas obtenidas inicialmente en el granulado no presentaban cambios significativos (Tabla 4). Con este resultado, se decidió prototipar un nuevo sistema de mayor capacidad y de funcionamiento autónomo.

Debido a que se desconocía la aceptabilidad en términos de ganancia en peso y palatabilidad del material granulado en animales bovinos (en el mercado potencial del NutPalm), se determinó que era necesario diseñar un prototipo a mayor escala que permitiera validar las propiedades nutricionales, así como,

tener el insumo suficiente para realizar pruebas de palatabilidad en animales.

Derivado del análisis de los distintos equipos de separación diseñados por los investigadores, se seleccionó el tambor clasificador para ser instalado en la planta de Agroince Ltda. y de esta manera tratar el flujo de fibra residual, es decir, procesar la fibra sobrante del flujo una vez el 50 % de la misma se hubiera utilizado en la caldera de vapor.

Dentro del tambor se genera un movimiento angular que transporta la fibra de forma tangencial por la superficie cilíndrica constituida por láminas perforadas; el movimiento del tambor eleva y choca la fibra de mesocarpio contra el cilindro produciendo una separación por diferencia de tamaños de partícula similar a la función de los tamices en el segundo prototipo. En este tercero, de forma mecánica se procesaron 120 kg granulado/hora y este último presentó un mayor porcentaje de impurezas respecto a lo obtenido en los anteriores debido a la velocidad de giro del tambor.

De acuerdo con los resultados del tercer prototipo se decidió analizar el impacto de las impurezas en las propiedades bromatológicas del granulado a partir de muestras puntuales del material, con lo cual se evidenció que existe una relación directamente proporcional entre el porcentaje de impurezas y contenido de cenizas, fibra cruda, FDN, FDA. Por otra parte se observa una leve relación inversa entre el porcentaje de

Tabla 4. Análisis bromatológico material granular separado con el segundo prototipo manual (tamices)

Resultados promedio de análisis bromatológico		
Parámetros	Muestra 1 NutPalm	Desviación estándar
% humedad	10,64	1,91
% ceniza	10,31	1,12
% grasa	7,21	0,87
% proteína	8,47	1,75
% fibra	27,81	0,87
Carbohidratos totales	64,73	3,4
Valor calorífico (kcal/100 g)	347,25	12,3
Energía metabolizable kcal/100 g)	212,56	12,3

impurezas y las propiedades nutricionales de mayor relevancia (% proteína cruda y % grasa) (Tabla 5).

Adicional a lo anterior, se decidió realizar un cuarto prototipo al tratar de disminuir el porcentaje de humedad del granulado, ya que concentraciones superiores al 10 % de humedad promovían el crecimiento de microorganismos que descomponían el material, por este motivo, se diseñó, construyó y puso en marcha un sistema de secado.

Una vez probado en diferentes momentos del día y bajo la variabilidad de las condiciones climatológicas del municipio de San Martín-Cesar, ubicación de la planta extractora Agroince, se logró obtener la humedad requerida para el almacenamiento de alimentos para animales. Dentro del análisis se tomaron tres muestras compuestas de NutPalm para cada corrida de secado, de igual manera se realizaron dos corridas por intervalo de tiempo analizado (Tabla 6).

Tabla 5. Análisis bromatológico de material granular con diferentes porcentajes de impurezas

Resultados del análisis bromatológico a diferentes porcentajes de impurezas				
Impurezas	5 %	10 %	15 %	20 %
% humedad	36,76	36,55	36,12	36,2
% ceniza	7,6	8,9	9,1	9,6
% grasa	10,54	10,32	10,21	9,87
% proteína	9,65	9,12	9,08	8,87
% fibra cruda	22,12	23,14	23,45	24,12
% FDN	43,12	43,22	44,12	47,65
% FDA	34,21	34,65	35,12	36,54

Tabla 6 . Análisis de humedad material granular después del sistema de secado

Análisis de humedad promedio en NutPalm húmedo y seco					
Muestra	Hora	Humedad promedio inicial	Desviación estándar	Humedad promedio final	Desviación estándar
1	2:00 p. m.	39,45	2,43	9,87	1,03
2	2:00 p. m.	39,21	2,67	9,78	0,87
3	4:00 p. m.	39,23	2,87	9,89	0,92
4	4:00 p. m.	38,78	3,12	9,91	1,21
5	6:00 p. m.	38,65	2,87	9,87	0,93
6	6:00 p. m.	38,89	2,77	9,83	1,32
Promedio	NA	39,04	2,78	9,86	1,05

En la etapa final de la investigación, se identificaron los componentes nutricionales de la fracción granular y se logró obtener el volumen suficiente (120 kg/hora) para pruebas en bovinos, se procedió a materializar el producto mediante el desarrollo de pruebas de palatabilidad y ganancia en peso de estos animales.

Considerando que el eficiente crecimiento metabólico de un bovino está influenciado por el consumo de forraje y suplementos nutricionales balanceados, fue necesario diseñar fórmulas alimenticias que cumplieran con las demandas y estuviesen compuestas por materias primas derivadas de la agroindustria de la

palma (Tabla 7). En el suplemento diseñado para animales de engorde o ceba se utilizó cerca de un 70 % de granulado NutPalm mezclado con torta de palmiste y un 15 % de aceite rojo de palma, para un total de 85 % de la mezcla compuesta por derivados del proceso de extracción de aceite de palma.

De acuerdo con los balances teóricos realizados, la fórmula diseñada aportaba un 15 % de proteína y 3.092,6 kcal de energía, sin embargo, el análisis bromatológico evidenció que el suplemento presentaba un mayor valor energético al teórico y menores contenidos de proteína de lo esperado (Tabla 8).

Tabla 7. Composición suplemento para ceba

Materia prima	%	% proteína	kcal
Harina de despojos	5%	34,0 %	2.900
Torta	37 %	12,0 %	2.300
Urea	2,5 %	187,5 %	0
NutPalm	38,3 %	9,0 %	2.200
Minerales	0,0 %	0,0 %	0
Aceite	15 %	0,0 %	7.800
Azufre	0,1 %	0,0 %	0
Glicerol	2 %	0,0 %	4.200
Total	100 %	15,0 %	3.092,6

Tabla 8. Análisis bromatológico suplemento ceba

Análisis bromatológico	
Parámetros	Ceba
% humedad	26,45
% ceniza	7,57
% grasa	14,86
% proteína	13,45
% fibra cruda	10,13
Carbohidratos	44,19
Valor calórico	3.130
Energía metabolizable kcal/100 g)	3.099

Resultados en campo

Para la experimentación con bovinos se contó con el soporte técnico y logístico de una empresa agroganadera de la región del Magdalena Medio, la cual permitió alimentar un lote de animales de engorde con el suplemento diseñado en esta investigación y compararlo con otro grupo que fue alimentado con su fórmula de concentrado habitual. La empresa suplementaba la alimentación de sus animales con 2 kilos de concentrados alimenticios diarios conformados por una base de pollinaza de hasta el 70 % (Tabla 9), históricamente la ganancia en gramos diario promedio de dicho suplemento era de 536 g/día.

Para el experimento se tomó una muestra de 240 novillos en etapa de finalización, los cuales fueron

divididos en 2 lotes de 120 novillos, los animales del primero fueron alimentados con 2 kg de suplemento basado principalmente en pollinaza (Tabla 9) y el otro con el suplemento basado principalmente en NutPalm (Tabla 7). Para el experimento se fijaron parámetros como raza del animal y el aporte nutricional de las pasturas teniendo en cuenta los análisis de caracterización realizados a las mismas (Latorre *et al.*, 2019), el periodo de alimentación fue de 4,5 meses y se definió un protocolo de pesaje al inicio y al final para registrar las ganancias de peso de los 2 lotes de novillos (Tabla 10), tal y como se realiza habitualmente en todas las industrias dedicadas a la producción de carne, esta forma de medición se estableció con la asesoría de un experto en nutrición animal y basados en las experiencias recopiladas por la empresa agroganadera.

Tabla 9. Composición del concentrado utilizado habitualmente con sustrato principal de pollinaza

Materia prima	%
Pollinaza	70
Sebo	16
Glicerol	7
Promotor	0,2
Azufre	0,2
Grasa	6,6
Total	100
Costo mezclado	NA
Costo final	NA

Tabla 10. Resultados del experimento con bovinos en etapa de finalización

Variable	Concentrado con NutPalm	Desviación estándar	Coficiente de variación	Concentrado con pollinaza	Desviación estándar	Coficiente de variación
Peso inicial (kg)	379,10	9,83	2,59 %	380,45	30,05	7,90 %
Peso final (kg)	457,90	20,15	4,40 %	449,89	19,66	4,15 %
Ganancia (g/día)	597,64	142,40	23,83 %	522,12	93,30	17,87 %
Días evaluados	133			133		

Como resultado del experimento de alimentación en bovinos (Tabla 10), el lote de animales con el suplemento basado principalmente en NutPalm obtuvo una ganancia en gramos/día relativamente superior a lo observado en los animales del lote blanco o testigo alimentados con pollinaza, lo cual permite concluir que NutPalm es una materia prima competitiva, teniendo en cuenta que la pollinaza es un insumo abundante pero que debe someterse a procesos de estabilización, con el fin de disminuir riesgos sanitarios, y además, cumplir con la normativa NTC 5167 propuesta por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) para su comercialización.

Adicionalmente, los resultados del experimento fueron validados a partir de inspecciones diarias realizadas por el veterinario y el personal operativo a cargo de la nutrición animal en la empresa agroganadera, donde se evidenció: 1) una aceptación del alimento a base de NutPalm en términos de palatabilidad, a través de la medición del consumo de alimento diario por cada animal y 2) que las características físicas de desarrollo del animal en la etapa de finalización fueran sobresalientes de acuerdo con los análisis realizados por el nutricionista.

Por otro lado, cabe agregar que los resultados de ganancia en peso son significativamente superiores cuando se suplementa, comparado con los resultados obtenidos en una dieta basada únicamente en forrajes (sin ningún tipo de suplementación), ya que en la misma época del año (verano) y utilizando animales con genotipos similares al de la experimentación, la empresa agroganadera había obtenido ganancias de peso cercanas a los 320 g por día.

Conclusiones

La investigación logra validar en primera instancia que la fibra de mesocarpio prensada es una mez-

cla heterogénea, compuesta por hebras vegetales y fracción granular. Adicionalmente, se valida que el proceso de separación de la fase granular de la fibra de mesocarpio NutPalm es una tecnología viable y novedosa para el sector de la extracción de aceite de palma y el aprovechamiento de residuos fibrosos, ya que logra obtener un insumo para alimentación animal, a partir de la separación mecánica de la fracción granular de la fibra de mesocarpio prensada NutPalm.

En coherencia con lo anterior, el equipo de investigación logra obtener una patente de invención que protege la propiedad intelectual alrededor de una serie de métodos físico-mecánicos, algunos de los cuales no fueron expuestos en este documento.

Por otra parte, se evidencia que el desarrollo metodológico propuesto en la investigación facilita la construcción de conocimiento y lleva a la tecnología a niveles de madurez cercanos al despliegue comercial o de transferencia, puesto que se logra comprobar que la fase granular de la fibra de mesocarpio es digerible por parte de rumiantes, es aceptada por los bovinos y tiene un rendimiento en términos de producción de carne viable.

Finalmente, se concluye que comparativamente con la torta de palmiste, la fase granular de la fibra de mesocarpio puede ser aprovechada en la alimentación de animales en proporciones similares a las utilizadas por la torta de palmiste, ya que sus características nutricionales son parecidas; por tanto, la tecnología representa una alternativa de ingresos para las plantas de beneficio a partir de una ruta tecnológica que disminuye la disposición de residuos en campo.

Referencias

- Abu, H., Ishida, I., Mohd, S. & Ahmad, T. (1994). *Oil Palm Fronds as Roughage Feed Source for Ruminants in Malaysia*. Livestock Research Division, Malaysian Agriculture Research and Development Institute (mardi).

- Aldana, R. A. & Crespo, D. C. M. (2018). Evaluación económica y financiera de las alternativas de uso de los residuos de la materia prima de una planta industrial de extracción de palma de aceite. *Dictamen Libre*, (22), 81-101.
- Beltrán, L. S. & Loredó, O. C. (1999). *Rehabilitación y manejo de pastizales de zonas áridas y semiáridas*. Informe final de proyecto. San Luis Potosí: SLP CE Palma de la Cruz.
- Brown, T. (2008). Design Thinking. *Harvard business review*, 86(6), 84.
- Cala, S. L., García, J. A. & Yañez, E. E. (2011). Manual de procedimientos de laboratorio en plantas de beneficio (No. L-0865). Colombia: Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma.
- Calimán, J. P., Dubos, B., Tailliez, B., Robin, P., Bonneau, X. & De Barros, I. (2004). Manejo de nutrición mineral en palma de aceite: situación actual y perspectivas. *Palmas*, 2004 (25), 42-60.
- Cárdenas, A. G. (2016). La agroindustria de la palma de aceite en América. *Revista Palmas*, 215-228.
- Caruso, D., Devic, E., Subamia, I., Talamond, P. & Baras, E. (2014). Technical Handbook of Domestication and Production of Diptera Black Soldier Fly (BSF). *Hermetia Illucens*, Stratiomyidae.
- Chiew, Y. L. & Shimada, S. (2013). *Current State and Environmental Impact Assessment for Utilizing Oil Palm Empty Fruit Bunches for Fuel, Fiber and Fertilizer- A Case Study of Malaysia, Biomass and Bioenergy*.
- Cuesta, A., Conde, A. & Moreno, M. L. (2000). Tratamiento y calidad nutritiva de subproductos fibrosos de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Revista Palmas*, 21(especial), 264-274.
- Cuesta, A., Manjarres, R. E. & Conde, A. (2000). Consumo y comportamiento ruminal de ovinos alimentados con fibra de palma de aceite amonificada con urea al 10. *Revista Palmas*, 21(especial), 275-28.
- Devendra, C. & Leng, R. A. (2011). Feed Resources for Animals in Asia: Issues, Strategies for Use, Intensification and Integration for Increased Productivity. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 24(3), 303-321.
- Durán, A. O., Castro, C. E. & Alfonso, L. C. (1990). Determinación del nivel óptimo de proteína al utilizar cachaza de palma africana como fuente de energía en raciones para cerdos de engorde. *Livestock Research for Rural Development*, 2(2).
- Durán, A. O. (1994). Utilización del fruto de palma africana como fuente de energía con niveles restringidos de proteína en la alimentación de cerdos de engorde. *Livestock Research for Rural Development*, 6(1).
- FAO, FIDA, OMS, PMA & UNICEF. (2019). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2019. Protegerse frente a la desaceleración y el debilitamiento de la economía*. Roma: FAO.

- García, J. A., *et al.* (2010). Generación y uso de biomasa en plantas de beneficio de plantas de aceite en Colombia. *Revista Palmas*, 31(2). Modificado por autor.
- Hee Kum W. & Wan M. (2011). Utilisation of Oil Palm By-products as Ruminant Feed in Malaysia. *Journal of Oil Palm Research*, 23, 1029-1035.
- Institut Penyaledikan Minyak Kelapasawit Malaysia. (1992). Características y usos de la torta de palmiste en Malasia. Kementerian Perusahaan Utama, Malasia. Traducido por Fedepalma *Revista Palmas*, 13 (2).
- Latorre, S., Jiménez, F. & Ochoa, J. (2019). Suplementar si paga, especial forrajes. *De Carne*, 41, 56-58.
- Lockwood, T. (2010). *Design Thinking: Integrating Innovation, Customer Experience, and Brand Value*. Simon and Schuster.
- Macedo, M. A., Miguel, P. A. C. & Casarotto Filho, N. (2015). A caracterização do design thinking como um modelo de inovação. *RAI Revista de Administração e Inovação*, 12(3), 157-182.
- Nugi, A. & Danbaro, G. *Growth of Beef Cattle Fed Palm Kernel Meal on a Feedlot in Papua New Guinea*.
- Ocampo, A. (1992). *Oil-rich Fibrous Residue from African Oil Palm as Basal Diet of Pigs; Effects of Supplementation with Methionine*. Villavicencio: Universidad Tecnológica de los Llanos Orientales.
- Ocampo, A. (1994). Utilización del fruto de palma africana como fuente de energía con niveles restringidos de proteína en la alimentación de cerdos de engorde. *Livestock Research for Rural Development*, 6(1).
- Ordóñez, R. & Valencia, P. (2018). Apoyando a la palma sostenible en América Latina y el Caribe. Blog invest bid. Banco interamericano de desarrollo. Recuperado de <https://blogs.iadb.org/bidinvest/es/apoyando-la-palma-sostenible-en-america-latina-y-el-caribe/>
- Paredes-O., F. (2011). *Plantas extractores*. Palmeras de los andes, p 11.
- Purnomo, D., Bunyamin, A., Nawawi, M., Danuwidjadja, T. G. & Izzatulloh, M. H. (2020). Innovative Post-harvested Processing Activation Program for Potential Local Agro-based Food Commodity Using Design Thinking Approach (Case Study: Keladi Tuber (*Caladium bicolor* Vent.) commodity in Manokwari, West Papua). *E & ES*, 443(1), 012082.
- Randolph, J. J. (2009). A. Guide to Writing the Dissertation Literature Review. Practical Assessment. *Research & Evaluation*, 14(13), 1-13.
- Talero Rojas, G. F. *Evaluación del proceso de torrefacción de tusa y fibra de palma africana (Elaeis guineensis)*.
- Wambeck, N., Bernal, C., Guillermo, A. & Cala, G. (2005). *Sinopsis del proceso de la palma de aceite [manual wambeck] (no. L-0605)*. Colombia: Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma), Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) Sociedad de Agricultores de Colombia (SAC).