

# Análisis de la Revalorización de la Cáscara de café como Bio-compuesto Textil

*Abstract– In the following research, the behavior of a dry coffee husk bio composite gathered from the revalorization of the pulping stage in the wet coffee process has been studied. The purpose of this research has been to produce a bio composite as a textile material alternative with dried coffee husk as an additive and three components – USP vegetable-grade liquid glycerin as a binder, sodium alginate as a plasticizing polymer and purified water as a solvent; considering the components amounts from another coffee bio composite study, non-related to this research, as a reference. A mixture experiment has been developed with the program Design Expert® in which the mixtures’ ranges have been decided according to the criteria of: less than 25% and more than 75% of the reference study quantities.*

*20 runs of coffee husk bio composites of 25 g each in molds have been produced. The physical test of weight and the mechanical test of spirality have been carried out on the textile bio-composites before and after a 30-min soaking process with household detergent. The results of the tests have concluded that the bio-composites have lost up to 500 g and the spirality has reached up to 7.69%. The optimal amounts to maximize the results, close to 0, have been: 3.2102 g of glycerin, 1.94 g of alginate, 7.77 g of coffee husks and 12.078 g of water; with a loss of weight of 193.961 g and a spirality of 2.85189% after soaking and drying the bio composite. The results have been statistically significant, but they have required greater statistical control and an analysis of the multicollinearity of the twisting response, since the influence of the independent variables (components) is high.*

*Keywords-- waste reclamation, coffee by-product, bio-based composite, textile fiber.*

## I. INTRODUCCIÓN

Diariamente se generan grandes volúmenes de residuos de café sin ningún valor comercial globalmente generando una carga ambiental para los países productores y consumidores. Y Honduras no es la excepción ya que la industria cafetalera en el país es de suma importancia por su amplia aplicación y su impacto directo en la economía nacional y en las comunidades productoras. En su mayoría, el café producido en el país se exporta; pero los residuos y desperdicios de la producción del mismo permanecen en el país y no existen prácticas que permitan su aprovechamiento.

En el presente informe se expondrá la viabilidad de la construcción de bio-compuestos a partir de la cáscara de café como alternativa de material textil. Se presentarán pruebas textiles a los bio-compuestos textiles los cuales determinarán su funcionamiento y se obtendrán conclusiones sobre el rendimiento real que dichos bio-compuestos presentan, generando así una interpretación de los resultados que sustenten futuros proyectos.

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### A. Precedentes del Problema

140 mil millones de toneladas de residuos de biomasa de actividades agrícolas se generan anualmente mundialmente [1]. Una de las industrias agroindustriales y cadenas de valor más importantes es el café. Desde el año 2000 hasta el año 2018, Honduras tuvo una participación aproximada del 36.3 % en las exportaciones de café a nivel mundial y hasta el 2017 el café aportó en promedio el 30 % al PIBA (Producto Interno Bruto Agrícola) nacional [2].

Uno de los enfoques de desarrollo agrícola del país es la implementación de nuevas prácticas y estudios para el mejoramiento de la producción de café omitiendo la gestión y revalorización de los residuos, subproductos, desechos y desperdicios de la producción del café en Honduras; el país que dedica mayor cantidad de hectáreas para la producción de café en Centroamérica desde el año 2012 [2].

### B. Definición del Problema

La producción y el procesamiento del café genera 20 millones de toneladas de desechos líquidos y sólidos anualmente; los agricultores y las plantas procesadoras que deben manejar su gestión [3]. Los residuos y sub-productos provenientes de la producción, comercialización y consumo del café en forma de pulpa, agua residual y pergamino [3] no aprovechados contaminan el medio ambiente.

En Latinoamérica, los residuos del café son la principal fuente de contaminación de los ríos [3]. Los residuos del café representan una amenaza para las comunidades que se dedican a las actividades productivas de su cadena de valor y para la sociedad en general del país, si no se estudian o aplican alternativas de aprovechamiento de los mismos por lo que el objetivo de este estudio es evaluar un bio-compuesto producido a partir de la revalorización de un sub-producto del café y un aglutinante natural como alternativa de material textil.

## III. MARCO TEÓRICO

### A. Historia

El café arábico (*Coffea arabica*) es originario de las tierras altas del sur de Etiopía y Sudan (África) [6]–[8]. Aproximadamente en 1718, se introdujo el café al continente Americano desde Surinam [5]. Según Rodney Santacreo Ponce [8], el café llegó a Costa Rica en 1796-1798 y poco tiempo después a Honduras, ya que en 1804 se registra la primera referencia de la plantación del cafeto durante la colonia en el país.

El crecimiento de la industria cafetalera en el país se prolongó con lentitud desde finales del siglo XIX a mediados del siglo XX, hasta los años 60, momento en el que alcanzó un incremento acelerado que para los años 70 posibilitaba la oportunidad para Honduras de constituirse como el productor líder de café en Centroamérica a inicios del siglo XXI [8].

A mediados de 1970 e inicios de 1990, la producción y la cosecha del café en el país aumento 140 % a causa de la tecnificación, el uso de fertilizantes químicos y la inversión gubernamental en investigación y desarrollo agrícola [7]. Y para el año 1999, el café ya aportaba el 4 % del PIB nacional [8].

### B. Generalidades

Según Torres-Valenzuela et al. [5] el cafeto es una planta tropical perenne que pertenece a la familia *Rubiaceae*. Morris [7] comenta que existen más de 130 especies del género *Coffea* identificadas en África. Sin embargo, solo dos especies, *Coffea arabica* y *Coffea canephora* producen café para el consumo [4]. La especie *Coffea arabica* fue la primera especie de café cultivada para el consumo humano hasta el siglo XX [7] y la más conocida mundialmente [9].

La especie *Coffea canephora*, también denominada Robusta, se puede cultivar en altitudes más bajas, climas más cálidos y es menos susceptible a enfermedades [10]. A pesar de esto, la especie arábica constituye el 75-80 % de la producción mundial de café en el mercado internacional [10], dado que produce los mejores cafés del mundo por sus características organolépticas [5]. Asimismo, el café arábico produce cafés de especialidad y café de calidad media para el mercado [4].

Busch y França Holanda, Freitas y Reno, Lopes et al. y Reis et al. [11]–[12] califican al café como una de las materias primas más importantes en el mundo. Mientras que algunos autores concuerdan que el café es considerado la segunda materia prima más comercializada mundialmente precedido únicamente por el petróleo [10], [13]–[16]. El café es considerado como una de las bebidas más consumidas a nivel mundial [15].

La industria está presente en 80 países [10] y sus actividades productivas generan aproximadamente 100 millones de empleos [16]. Según Morris [7] aproximadamente el 90 % de la producción mundial del café es parte del mercado de materias primas, mientras que un 5-10 % es considerado como café de especialidad y no forma parte del mercado de materias primas.

### C. Anatomía y Morfología

El fruto, baya o cereza del café se puede dividir en dos partes principales, el pericarpio y la semilla, y cada fruto suele dar dos granos de café [10]. El pericarpio del café incluye varios tejidos en el exterior y el interior del fruto los cuales son: el exocarpio (epicarpio) o piel, el mesocarpio o pulpa y el endocarpio o pergamino [17]. El exocarpio es la piel exterior de textura lisa y resistente de la cereza del café, la cual se

torna rojo violeta o rojo intenso a medida maduran [10], [15], [18].

El exocarpio recubre al mesocarpio compuesto de una pulpa carnosa, blanda, amarillenta, fibrosa (mesocarpio externo) y una capa viscosa dulce de mucílago (pectina) en frutos maduros [10], [15]. Debajo del mesocarpio se encuentra el endocarpio (pergamino), una capa delgada cubierta de polisacáridos [10], [15], [18]. El endocarpio encierra al endospermo [18], que forma parte de la semilla del café en conjunto con la piel plateada y los granos de café [10].

La piel plateada es un tegumento delgado [18], que recubre directamente los dos granos de café que tienen forma elíptica y para cosecharlos se deben retirar las cinco capas de material protector [15]. El tejido más abundante de la cereza del café es la pulpa la cual constituye entre el 30-40 % del peso seco de la fruta entera madura [17].

### D. Etapas de Producción

Los dos métodos principales para procesar las cerezas de café son: método húmedo y método seco [19]. En el método húmedo, se utiliza la técnica de recolección selectiva para cosechar las cerezas del café [13]. La recolección selectiva consiste en recoger las cerezas de café completamente maduras de manera individual del cafeto dejando en las ramas las cerezas del café sin madurar [7].

Una vez las cerezas de café son cosechadas se inicia la post-cosecha [15]. En la postcosecha se siguen una serie de pasos en ambos métodos para retirar las capas protectoras del fruto y secar los granos [4] para así transportarlos, almacenarlos y comercializarlos [17]. De acuerdo a Pineda Mejía et al. [19], el método húmedo está conformado por dos fases principales: la fase húmeda y el secado del café.

La fase húmeda se caracteriza por la selección y clasificación de la fruta en cada uno de los pasos los cuales comprenden la cosecha selectiva o recolección, el despulpado, el desmucilaginado, el lavado, el clasificado y el secado; mientras que la fase seca convierte el café pergamino seco a café oro para exportar y comprende el almacenamiento, el trillado, el clasificado, el catado y envasado [19].

El despulpado consiste en separar la semilla de la cereza del café de la pulpa [19] y retirar la piel y la pulpa en conjunto. Sin embargo, los granos despulpaos conservan la textura pegajosa del mucílago que se elimina en la fermentación [15]. Al completarse el desmucilaginado o la fermentación, los granos de café se lavan [13] para eliminar restos de mucílago de los granos [15].

Los granos de café se clasifican por peso obteniendo cafés vanos, cafés de terceras para consumo nacional y cafés de segunda y primera para la exportación [19]. Esto resulta en café pergamino o granos verdes de café rodeados por pergamino y piel plateada que se secan al sol o mecánicamente [15]. El grano de café seco se almacena en bodegas para luego separar el café verde oro del pergamino mediante el trillado [19] o descascarillado [4] y la piel plateada del grano de café [18].

La etapa de transformación de los granos verdes de café consiste del pulido, tostado y molido y resulta en café tostado y molido [15]. Sin embargo, el tostado y molido de los granos de café, usualmente no se realiza en los países donde se cultiva y cosecha el café [18]. Sino que se exportan los granos verdes de café a los países consumidores donde son tostados, empaquetados y comercializados [4].

#### E. Producción y Comercialización Internacional

Para el año cafetalero 2019-2020, el consumo interno de los países exportadores fue de 65.1 millones de quintales similar a los 65.5 millones de quintales del año cafetalero 2018-2019 [20]. El consumo mundial total del año cafetalero 2019-2020 fue de 166.06 millones de sacos de 60 kg, aumentando en un 0,5 % comparado con el año cafetalero 2018-2019 [21].

Asimismo, en el año cafetero 2019-2020, el consumo del café en los continentes a nivel mundial fue: Unión Europea (32.9 %), Asia y Oceanía (22.1 %), Norteamérica (18.7 %), Sudamérica (16 %), África (7.1 %) y México y Centroamérica (3.2 %) [11].

Además, en el 2019, los principales países productores y exportadores de café fueron Brasil (USD5,100.00 millones), Vietnam (USD2,700.00 millones) y Colombia (USD2,590.00 millones), mientras que los principales países importadores fueron Estados Unidos (USD6,200.00 millones), Alemania (USD3,500.00 millones) y Francia (USD2,800.00 millones) [4].

Bozzola et al. [4] menciona que las exportaciones globales de café verde representan cerca de USD20,000 millones mientras que los productos derivados el café representan aproximadamente USD18,000 millones. Los cinco países principales son Brasil, Vietnam, Colombia, Indonesia y Honduras, que cubren alrededor del 75 % de la producción mundial del café [4].

#### F. Producción y Comercialización Nacional y Exportación

Según Pineda Mejía et al. [19], 15 departamentos de Honduras cultivan café comercialmente. Además, de los 298 municipios de Honduras, 210 municipios producen café [20]. Sin embargo, en Honduras únicamente, se cultiva la especie *Coffea arabica*, en diferentes variedades como: Typica, Bourbon, Caturra, Pacas, Villa Sarchí, Catuái, Ihcafe-90 y Lempira [9]. El 90 % del café producido por el método húmedo se exporta y el 10 % del café producido por el método seco se destina para el consumo nacional [19].

Según el Instituto Hondureño del Café [22], en el año cafetalero 2020-2021, Honduras ocupaba el séptimo lugar como país exportador en el mundo, el tercer lugar como productor en el continente americano, el sexto país con la mayor producción en el mundo. Honduras exportó café a 59 destinos del mundo generando USD 1,165 millones de divisas lo que equivale al 5 % de aporte al PIB y el 26 % del PIBA.

#### G. Productos y Residuos Derivados del Café

Según Torres-Valenzuela et al. [5], la industria del café genera aproximadamente 2 mil millones de toneladas de

residuos agrícolas; los subproductos del café corresponden al 80 % del volumen total de su cadena de valor. Los subproductos más comunes del café son la pulpa, la cáscara, la piel plateada, la cascarilla y la borra [5].

Atabani et al. [10] comenta que la cáscara, la pulpa y la cascarilla conforman aproximadamente el 45 % de la cereza del café y son el principal residuo del café. La cáscara y la pulpa de las cerezas de café son los residuos sólidos generados después de descascarar las cerezas de café [23], que, según el método de procesamiento, húmedo o seco, suelen ser los primeros subproductos; representan aproximadamente del 12-29 % de la cereza del café [5].

Según Galanakis [15], la pulpa de café está conformada por la piel y la pulpa y se produce en el método de beneficio húmedo. Al pericarpio seco se le conoce como cáscara de café [17]. La cáscara se obtiene de la etapa de descascarillado del método de procesamiento seco [18] y está compuesto por la piel seca, la pulpa, el mucílago y la piel plateada [15]. La cáscara de café obtenida del método seco conforma aproximadamente el 45 % de la cereza del café [24].

El mucílago del café representa el 5 % del peso seco del fruto. La etapa de fermentación del método húmedo elimina el mucílago. La piel exterior de los granos de café es el pergamino [4]; endocarpio fibroso que separa y protege los dos hemisferios de la semilla del café que representa el 5.8 % del peso seco del fruto. Según Galanakis [15], una vez fermentado el fruto, se obtiene el café pergamino que conserva el pergamino y la piel plateada; se retiran mediante el descascarillado.

La piel plateada es un residuo que se genera durante el proceso de tostado del café [16]. La borra del café es el residuo que se produce del café instantáneo [18], obtenido de la preparación del polvo del café molido con agua [25]. Según Colantoni et al, [25], la borra del café genera 6 millones de toneladas de desperdicio anualmente. Vasco Costa Delgado et al. [26], menciona que la mayoría de los 7 millones de toneladas métricas de producción anual de café genera borra. La borra es el subproducto de café más abundante [14].

En Honduras, se producen aproximadamente 8 millones de quintales de pulpa, pero solo se utiliza un 20 – 30 % como abono orgánico en plántulas de viveros de café [19].

#### H. Aplicaciones Actuales de los Productos Derivados

Los subproductos del café presentan oportunidades para gestionar los principales residuos agrícolas de la cadena de valor del café y mejorar la viabilidad económica con corrientes secundarias de compuestos de valor añadido [16]. Los subproductos del café han sido aplicados en la fabricación de materiales de construcción, cosméticos, recuperación de sustancias bioactivas, biopolímeros y biocatalizadores, envasado de alimentos y biorrefinería [27].

La borra de café se ha aplicado en la biorrefinería sostenible produciendo varios tipos de combustible [27]. La borra del café tiene un perfil comparable al del aceite vegetal convirtiéndose en un potencial bio-polímero [21]. El mucílago del café es la mayor fuente potencial de pectina, la cual tiene

usos principalmente en la industria alimenticia y farmacéutica, como homogeneizante, emulsificante, desintoxicante, jabones, cosméticos, etc. [19].

La fibra de la pulpa del café tiene potenciales aplicaciones alimentarias y farmacéuticas como emulsionante y estabilizador en alimentos y bebidas [15]; se puede producir mermelada, jugo, concentrado y gelatina, harina para panadería, repostería, pastas, etc. [18]. La cáscara del café se ha utilizado para producir aditivos alimenticios como ácido cítrico [15], [18]. La cáscara del café se utiliza en el cultivo de microorganismos [18] y el compostaje en los países productores de café.

### I. Bio-Compuestos

Los bio-compuestos combinan dos o más materiales de una fuente natural, por lo que deben contener un refuerzo que pueden ser fibras o partículas y una matriz como un polímero [26]. Los bio-compuestos constan de ingredientes que se obtienen a partir de desechos vegetales, por ende, son fáciles y convenientes para encontrar; su uso resuelve problemas ambientales a partir de la fabricación de otros productos con propiedades físicas y funciones efectivas para usos específicos [12].

Una de las principales áreas de aprovechamiento de los residuos de biomasa es la producción de bio-compuestos a partir de polímeros reforzados con fibras naturales o NFRP [1]. Asimismo, existen varias investigaciones que buscan desarrollar compuestos a partir de diversos residuos agrícolas con contenido lignocelulósicos destinados para rellenos de refuerzo y polímeros termoplásticos como matriz [12].

Las ventajas de los bio-compuestos son: disponibilidad, renovables, bajo costo, livianos, con resistencias y rigideces específicas [26]; baja densidad, biodegradabilidad, baja energía de procesamiento y variedad de morfologías y dimensiones en las que se pueden encontrar [12].

## IV. METODOLOGÍA

### A. Enfoque

Se desarrolló una experimentación pura con para comprender el efecto de las variables de los componentes del bio-compuesto de cáscara de café en su rendimiento.

En la presente investigación se utilizó el diseño experimental de mezclas ya que en los factores de su formulación son proporciones de los componentes de la mezcla y la respuesta es la variable que caracteriza los efectos [28]; necesitaba de la construcción de un diseño óptimo basado en una respuesta ordinal [29] y un algoritmo que cumpliera con las restricciones del experimento.

### B. Técnicas e Instrumentos Aplicados

El software *Design Expert*® es una herramienta estadística empleada en el diseño experimental y en la optimización del proceso a través de la selección simultánea del nivel deseado de cada variable independiente [30]. En la presente investigación, el software *Design Expert*® se empleó

para plantear un modelo óptimo de la formulación de límites en la mezcla de los bio-compuestos y generar un análisis estadístico computarizado de los resultados.

### C. Materiales

Los materiales utilizados durante la fase experimental de la investigación incluyen: aditivo: cáscaras de café seca generada como residuo (pulpa) del procesamiento húmedo del café; aglutinante: glicerina líquida de grado vegetal; polímero plastificante: alginato de sodio extraído de algas pardas marinas que contiene aproximadamente 30 – 60 % de ácido algínico [31]; y solvente: agua purificada.

### D. Muestra

En experimentos con mezclas con k componentes o ingredientes, cada tratamiento es una combinación o mezcla de los componentes [32]. Si existen  $x_q$  componentes en una mezcla, cada componente se denota como  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_q$  y se satisfacen dos restricciones:

$$0 \leq x_j \leq 1 \quad (1)$$

para cada componente j.

$$\sum_{j=1}^q x_j = x_j = x_1 + x_2 + \dots + x_q = 1 \quad (2).$$

La ecuación 1 indica que las proporciones deben ser cantidades entre cero y uno; es decir que no puede existir una ausencia de cantidad o una cantidad negativa. La ecuación 2 condiciona a que las q proporciones sumen siempre la unidad; los componentes no son independientes entre sí.

Se pretende evitar una mezcla pura o igual a 0 mediante un diseño óptimo el cual se acerca geoméricamente a un tetraedro, pero no se obtiene una mezcla pura. Se busca un modelo cuadrático con un mínimo de 10 reiteraciones, 5 puntos de falta de ajuste para adecuar el modelo y 5 puntos de reiteraciones obteniendo así un total de 20 corridas, las cuales constituyen la muestra total del experimento.

### E. Metodología de Estudio

1) *Obtención de Materiales e Instrumentos*: Se recolectaron 50.8 lb de pulpa del café de un beneficio de café ubicado en la montaña de Mico Quemado al oriente del municipio y ciudad de El Progreso en el departamento de Yoro en Honduras. Se realizó la compra de 1 galón de glicerina de grado vegetal, la importación de 500 gr de alginato de sodio en presentación de 10 sobres de 50 gr cada uno desde Guatemala a Honduras y la compra de 1 galón de agua purificada.

2) *Preparación de los Materiales*: Se secó la pulpa de café bajo el sol por aproximadamente 80 horas (10 horas diarias en 8 días). Se calibró la balanza digital y se pesó el contenido obteniendo 6 lb de cáscara de café y 1 lb de desperdicio. Se pesaron 500 g de cáscaras de café; en lotes de

50 g (10 lotes). Se molió cada lote en la licuadora en el ciclo *ice crush*. Se cronometró el tiempo de molido de cada lote; 120 s divididos en cuatro intervalos de 25 s y un intervalo de 20 s, esperando 1 min entre ellos. Se almacenaron todos los lotes.

3) *Diseño del Experimento Computarizado*: Se tomó de referencia las cantidades del estudio de bio-compuestos por Vasco Costa Delgado et al. [26]. Se determinó que todas las mezclas debían contener 25 g (en peso húmedo) incluyendo todos los compuestos. Se delimitaron rangos en Excel de menos del 25 % y más del 75 % del total de la cantidad empleada en el estudio de referencia y se ajustaron las cantidades. Se diseñó un modelo óptimo de mezclas en el software *Design Expert*®.

4) *Fabricación de los Moldes*: Para fabricar los moldes se midieron, cortaron, pegaron y lijaron 160 palos de madera para paletas o artesanías con una distancia de 10 cm de largo cada uno. Se realizó una plantilla cuadrada de cartoncillo de 190 cm × 190 cm para los bordes externos y una de cartón de 10 cm × 10 cm para los bordes internos. Se marcaron y cortaron las medidas de las 20 corridas en 4 hojas de papel de cocina para hornear pegando 4 palos en el de papel de cocina y se enumeró cada molde con su respectiva corrida.

5) *Preparación de las Mezclas*: Se convirtieron los gramos del diseño experimental a onzas y se calibraron los instrumentos para la medición de cada componente de cada corrida. Se cronometró el tiempo de mezcla siguiendo un orden específico: aditivo, aglutinante y solvente; se mezcló por 5 min; se agregó el polímero plastificante y se mezcló por 3 min. Se vertió el contenido de cada corrida en su molde enumerado. Se dejaron secar las corridas por 7 días.

6) *Diseño de Prepruebas y Pospruebas*: Se pesaron las mezclas (25 g) antes y después de ser vertidas en los moldes para determinar el peso inicial húmedo. Se pesaron las corridas secas en sus moldes y se calculó el gramaje inicial por unidad de área 10 cm × 10 cm en gramos por metro cuadrado (g/m<sup>2</sup>) antes; y después del ciclo de remojo para calcular el gramaje final de los bio-compuestos. El gramaje de cada corrida se calculó utilizando la ecuación (3)

$$\frac{\text{peso (g)}}{\text{área (cm}^2)} (10,000) \quad (3).$$

Se determinó la cantidad de detergente (40 g de detergente por 10 litros de agua) de 2 g de detergente para cada corrida. Se vertió el detergente en 0.50 L de agua corriente en un contenedor y se dejó disolver por 2 min. Se introdujo cada corrida por 30 min. Se vació el contenido de agua con detergente y se vertieron 0.50 L de agua corriente más vaciándose de inmediato. Cada corrida se secó por 2 días.

Después del ciclo de remojo y su respectivo secado, se midieron diagonalmente con una regla las distancia entre los vértices opuestos de cada bio-compuesto según lo representado en la figura 1. Para calcular el porcentaje de

revirado de las corridas se utilizó la ecuación 4:

$$\text{Revirado \%} = \frac{2(AC-BD)}{(AC+BD)} * 100 \quad (4).$$

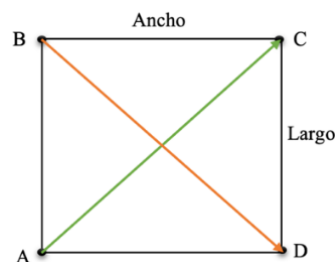


Fig. 1 Representación gráfica de la medición para el cálculo del porcentaje de revirado

## V. RESULTADOS

1) *Preparación de los Materiales e Instrumentos*: Se obtuvieron 6 lb de cáscara de café y 1 lb de desperdicio. Con la balanza mecánica calibrada se pesaron 10 lotes de 50 g (500 g) de cáscaras de café y se molieron en la licuadora en 4 intervalos de 25 s y un intervalo de 20 s, totalizando 120 s. Se obtuvieron 512 g de cáscara de café.

2) *Diseño del Experimento Computarizado*: Se tomaron como referencia las cantidades de un estudio de fabricación de bio-compuestos extruidos en 3D realizado por Vasco Costa Delgado et al. [26] En la tabla 1 se presentan las cantidades empleadas en el estudio tomado como referencia y con el cual se produjo un prototipo inicial.

TABLA I  
REFERENCIA PARA LA DETERMINACIÓN DE COMPONENTES DEL EXPERIMENTO DE MEZCLAS

Componente	Cantidad	Unidad
Glicerina	10	mL
Alginato de sodio	5	g
Granos de café	20	g
Agua	75	mL

Se realizó la conversión de los componentes en mililitros a gramos. Se utilizaron las ecuaciones 5 y 6 respectivamente y los resultados de las conversiones del estudio tomado como referencia se presentan en la tabla 2.

$$10 \text{ mL} * 1.26 \frac{\text{g}}{\text{mL}} = 12.6 \text{ g} \quad (5)$$

$$75 \text{ mL} * 1 \frac{\text{g}}{\text{mL}} = 75 \text{ g} \quad (6).$$

TABLA II  
CONVERSIÓN DE UNIDADES A GRAMOS DE LAS CANTIDADES DE REFERENCIA PARA LA DETERMINACIÓN DE COMPONENTES DEL EXPERIMENTO DE MEZCLAS

Componente	Cantidad	Unidad
Glicerina	12.6	g
Alginato de sodio	5	g

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).  
**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).  
**DO NOT REMOVE**

Granos de café	20	g
Agua	75	g

Ya que el peso total de la mezcla de referencia sobrepasaba el peso límite definido (25 g), se calculó el porcentaje de cada componente del estudio de referencia dividiéndolo entre el total de la mezcla y dividiendo el resultado entre 4 o lo equivalente a un cuarto del contenido porcentual; se redondearon los resultados a números naturales y se presentan en la tabla 3.

Se escogieron límites superiores e inferiores de menos del 25 % y más del 75 % de la cantidad de los componentes. Para calcular el límite inferior se restó el 25 % del valor total del componente menos el valor total del componente y para calcular el límite superior se sumó el 75 % del valor total del componente más el valor total del componente.

En el diseño del modelo óptimo del experimento con mezclas, el límite inferior no debe ser menor a cero ni negativo y el límite superior no debe ser mayor al total de las mezclas o 25 g. Por lo que para el diseño del modelo de experimento con mezclas se ajustó el valor de la cantidad de agua para no incluir mezclas puras en el experimento; según los resultados del programa Design Expert®. Se presentan los resultados obtenidos en la tabla 4.

TABLA III

REDONDEO DE LOS VALORES PORCENTUAL DE LAS CANTIDADES DE REFERENCIA DE LOS COMPONENTES DEL EXPERIMENTO DE MEZCLAS A NÚMEROS NATURALES

Componente	Cantidad	Unidad
Glicerina	3	g
Alginato de sodio	1	g
Granos de café	4	g
Agua	17	g

TABLA IV

LÍMITES SUPERIORES E INFERIORES AJUSTADOS DE LAS CANTIDADES DE LOS COMPONENTES DEL EXPERIMENTO DE MEZCLAS

Componente	25 % menos (en gramos)	75 % más (en gramos) ajustado
Glicerina	2.10	4.90
Alginato de sodio	0.83	1.94
Granos de café	3.33	7.77
Agua	10.39	18.74

Con el programa de Design Expert®, se obtuvieron los datos para la elaboración del experimento, los cuales fueron ingresados en el programa de Excel y se presentan en la tabla 5.

TABLA V

DATOS DE LA CANTIDAD DE COMPONENTES PARA CADA CORRIDO DEL EXPERIMENTO EN GRAMOS

No. corrida	Glicerina USP	Alginato de sodio	Cáscara de café	Agua	Total
1	3.8104	0.8300	7.7700	12.5896	25.00
2	2.5472	0.8300	6.6108	15.0120	25.00
3	4.9000	0.8300	3.3300	15.9400	25.00
4	3.3225	1.9125	5.7597	14.0053	25.00
5	3.3879	1.3442	3.4339	16.8340	25.00
6	4.8338	1.3257	5.8009	13.0396	25.00

7	3.3225	1.9125	5.7597	14.0053	25.00
8	2.3088	1.9400	5.1953	15.5560	25.00
9	4.9000	1.9400	3.3300	14.8300	25.00
10	4.4749	1.9400	6.8189	11.7662	25.00
11	2.1000	1.5229	7.7700	13.6071	25.00
12	4.0030	0.8300	4.8974	15.2696	25.00
13	4.9000	1.9400	7.7700	10.3900	25.00
14	3.3879	1.3442	3.4339	16.8340	25.00
15	2.1000	0.8300	5.0000	17.0700	25.00
16	2.1000	1.9400	3.3300	17.6300	25.00
17	4.8339	1.3257	5.8010	13.0395	25.00
18	4.9000	1.9400	4.4643	13.6957	25.00
19	4.8338	1.3257	5.8009	13.0396	25.00
20	3.3879	1.3442	3.4339	16.8340	25.00
Total	74.3544	29.1476	105.5106	290.9875	500.00

1) *Fabricación de Moldes*: Se obtuvieron 20 corridas y se fabricaron 20 moldes para los bio-compuestos.

2) *Preparación de las mezclas*: Se realizaron 20 mezclas.

3) *Diseño de prepruebas y pospruebas*: Los resultados del cálculo del gramaje de los bio-compuestos antes y después del proceso de remojo y la diferencia entre los gramajes de los bio-compuestos antes y después del proceso de remojo se presentan en la tabla 8.

TABLA VIII

RESUMEN DE LA DIFERENCIA DE GRAMAJE DE LOS BIO-COMPUESTOS ANTES Y DESPUÉS DEL PROCESO DE REMOJO

No. muestra	Gramaje antes del remojo (g/m2)	Gramaje después del remojo (g/m2)	Diferencia entre gramajes (g/m2)
1	1300	800	-500
2	1100	700	-400
3	1400	1000	-400
4	1600	1300	-300
5	1300	900	-400
6	1800	1400	-400
7	1600	1300	-300
8	1300	1200	-100
9	1500	1200	-300
10	1700	1700	0
11	1200	1000	-200
12	2100	1700	-400
13	1100	800	-300
14	700	500	-200
15	900	600	-300
16	800	700	-100
17	1600	1200	-400
18	1500	1100	-400
19	1200	700	-500
20	1100	600	-500

Los resultados del porcentaje de revirado de los bio-compuestos después del proceso de remojo se presentan en la tabla 9.

TABLA IX

RESUMEN DEL PORCENTAJE DE REVIRADO DE LOS BIO-COMPUESTOS DESPUÉS DEL PROCESO DE REMOJO

No. muestra	AC (cm)	BD (cm)	$(2 \times (AC-BD) / (AC + DB)) \times 100$ (%)
1	13.4	13.8	2.94
2	13.9	13.5	2.92
3	13.8	13.9	0.72
4	13.5	13.3	1.49
5	14	14	0.00

6	14	13.8	1.44
7	13.5	13	3.77
8	13.5	12.5	7.69
9	14	14	0.00
10	13.2	13.8	4.44
11	13.5	13.8	2.20
12	13.8	14	1.44
13	13.9	13.8	0.72
14	14.1	14	0.71
15	14	13.9	0.72
16	13.6	12.7	6.84
17	13.4	13.7	2.21
18	14	13.8	1.44
19	13.8	13.5	2.20
20	13.3	13.5	1.49

4) *Análisis de Gramaje y Revirado*: En la figura 2 se presenta que el modelo del gramaje según el programa Design Expert® es lineal ya que los datos no presentan curvatura. Además, el valor p es menor a 0.05 lo que indica que es significativo. La falta de ajuste es alta e indica que es insignificante. R2 ajustada y predicha es menor a 0.02 e indica que el nivel de variación es explicado por el modelo; y la experimentación solo contiene términos significativos.

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R <sup>2</sup>	Predicted R <sup>2</sup>	
<b>Linear</b>	<b>0.0093</b>	<b>0.4809</b>	<b>0.4096</b>	<b>0.2604</b>	<b>Suggested</b>
Quadratic	0.7846	0.2982	0.2784	-0.4811	
Special Cubic	0.9729	0.0426	-0.1178	-34482.8956	
Cubic	0.1548	1.0000	0.3403		<b>Aliased</b>

Fig. 2 Resumen de los modelos aplicables a la respuesta de gramaje y sus valores p y R2

En la prueba F del análisis de varianza (ANOVA) del gramaje en la figura 3 se obtiene que el valor F de 5.39 es significativo. Solo existe una probabilidad del 0.93% que se obtenga un valor F tan alto por ruido estadístico. La falta de ajuste de 1.12 no es significativa. Se concluye que fue un diseño experimental adecuado. Sin embargo, existe un 48.09% que se obtenga un valor F tan alto por ruido estadístico; el modelo se debería controlarse.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
<b>Model</b>	1.870E+05	3	62345.66	5.39	0.0093	significant
<sup>(1)</sup> Linear Mixture	1.870E+05	3	62345.66	5.39	0.0093	
<b>Residual</b>	1.850E+05	16	11560.19			
Lack of Fit	1.316E+05	11	11966.34	1.12	0.4809	not significant
Pure Error	53333.33	5	10666.67			
<b>Cor Total</b>	3.720E+05	19				

Fig. 3 Resumen del análisis de ANOVA de la respuesta de gramaje

Un VIF mayor a 1 indica multicolinealidad o correlación de las variables independientes; un VIF menor a 10 es tolerable. En la figura 4 se demuestra que, si existe multicolinealidad de las variables independientes del gramaje, pero su correlación es aceptable.

Component	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
A-Glicerina USP	-812.12	1	165.82	-1163.64	-460.59	2.53
B-Alginato de sodio	1192.72	1	428.28	284.82	2100.63	2.67
C-Cáscara de café	-324.74	1	114.53	-567.53	-81.95	1.99
D-Aqua	-354.55	1	62.77	-487.63	-221.48	2.05

Fig. 4 Resumen del análisis de multicolinealidad de la respuesta de gramaje

En la figura 5, el modelo experimental del gramaje tiene una distribución normal en los valores residuales, a excepción de la corrida número 10 cuya diferencia del gramaje es de 0 y se podría considera como un valor atípico en el experimento.

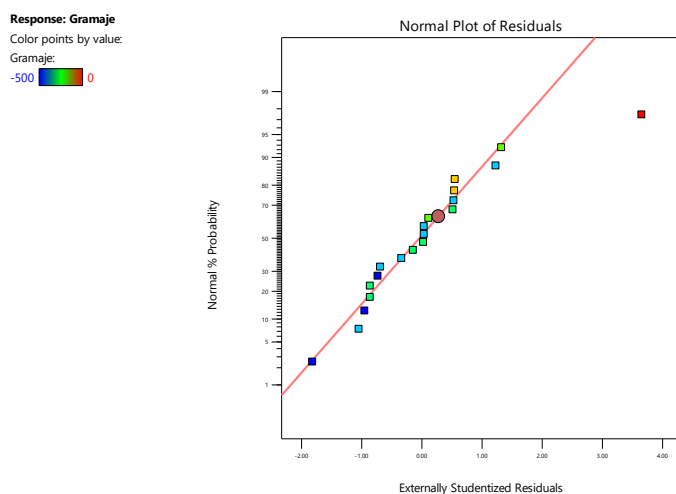


Fig. 5 Gráfica del análisis de normalidad de los valores residuales de la respuesta de gramaje

En la figura 6, el gráfico de control del gramaje destaca el valor atípico de la corrida 10 y una tendencia de 6 puntos hacia abajo en secuencia. Se necesita un mayor control en la prueba del gramaje.

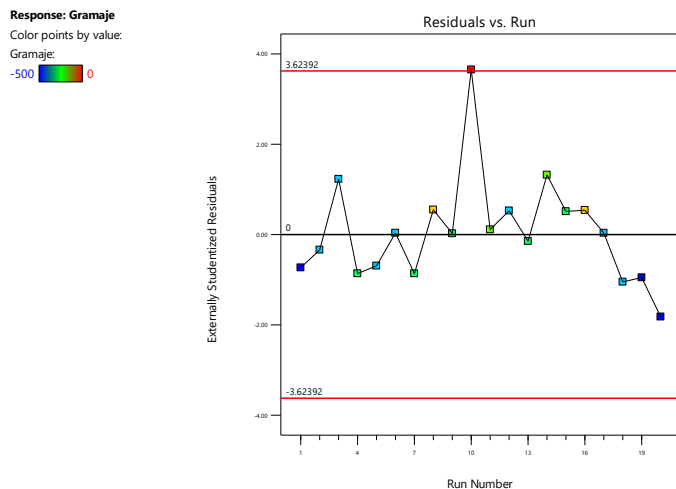




Fig. 6 Gráfica del análisis de control del proceso experimental de la respuesta de gramaje

En la figura 7, el espacio experimental del gramaje es limitado, se debería incrementar el espacio experimental para determinar el cambio de las respuestas del gramaje.

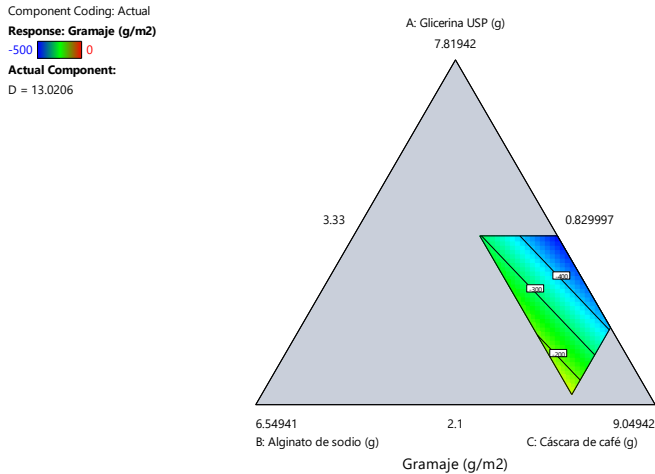


Fig. 7 Gráfica del espacio experimental de la respuesta del gramaje

En la figura 8, el modelo de revirado según el programa Design Expert® es cuadrático. Los datos presentan curvatura. El valor p es menor a 0.05; los datos son significativos. La falta de ajuste es alta e indica que es insignificante.

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R <sup>2</sup>	Predicted R <sup>2</sup>	
Linear	0.0541	0.0405	0.2533	-0.0846	
<b>Quadratic</b>	<b>0.0437</b>	<b>0.1184</b>	<b>0.6050</b>	<b>0.1108</b>	<b>Suggested</b>
Special Cubic	0.7645	0.0218	0.4959	-17890.6546	
Cubic	0.0954	1.0000	0.7665		<b>Aliased</b>

Fig. 8 Resumen de los modelos aplicables a la respuesta de revirado y sus valores p y R2

En la prueba F del ANOVA del revirado en la figura 9, el valor F de 4.23 es significativo. Solo existe una probabilidad del 1.72 % que se obtenga un valor F tan alto por ruido estadístico. La falta de ajuste de 3.12 no es significativa. Es un diseño experimental adecuado. Existe un 11.84 % que se obtenga un valor F tan alto por ruido estadístico. A excepción de los componentes AB, glicerina – alginato, la interacción de los demás componentes no es significativa.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
<b>Model</b>	<b>64.43</b>	<b>9</b>	<b>7.16</b>	<b>4.23</b>	<b>0.0172</b>	<b>significant</b>
<sup>(1)</sup> Linear Mixture	30.19	3	10.06	5.95	0.0135	
AB	11.04	1	11.04	6.53	0.0286	
AC	0.1767	1	0.1767	0.1045	0.7532	
AD	1.47	1	1.47	0.8712	0.3726	
BC	5.33	1	5.33	3.15	0.1061	
BD	4.05	1	4.05	2.40	0.1527	
CD	3.11	1	3.11	1.84	0.2050	
<b>Residual</b>	<b>16.91</b>	<b>10</b>	<b>1.69</b>			
Lack of Fit	12.81	5	2.56	3.12	0.1184	not significant
Pure Error	4.10	5	0.8201			
<b>Cor Total</b>	<b>81.34</b>	<b>19</b>				

Fig. 9 Resumen del análisis de ANOVA de la respuesta de revirado

En la figura 10, existe un alto nivel de multicolinealidad en las variables independientes del revirado a excepción del agua (8.97). Esta correlación afecta la respuesta, pero su efecto individual es difícil de determinar.

Component	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
A-Glicerina USP	16.86	1	17.11	-21.27	54.99	184.23
B-Alginato de sodio	250.71	1	128.98	-36.68	538.11	1657.54
C-Cáscara de café	-3.70	1	5.59	-16.15	8.75	32.37
D-Agua	0.2083	1	1.59	-3.33	3.75	8.97
AB	-411.07	1	160.89	-769.55	-52.59	145.82
AC	8.98	1	27.79	-52.94	70.90	42.91
AD	-23.61	1	25.29	-79.96	32.75	77.92
BC	-265.08	1	149.25	-597.63	67.47	197.73
BD	-229.44	1	148.25	-559.75	100.87	564.81
CD	12.88	1	9.50	-8.29	34.04	12.36

Fig. 10 Resumen del análisis de multicolinealidad de la respuesta de revirado

En la figura 11, el modelo experimental del revirado tiene una distribución normal de los valores residuales con un poco de asimetría, pero sin valores atípicos.

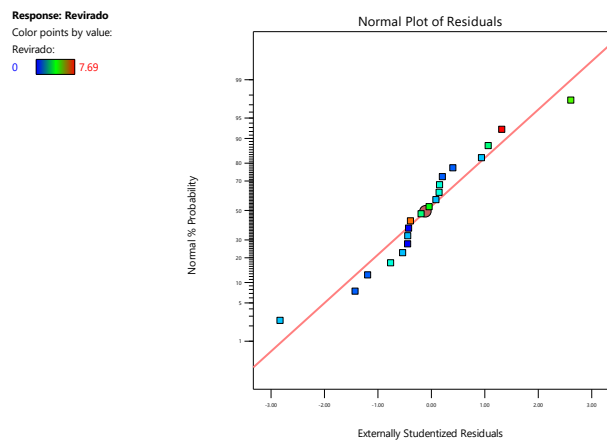


Fig. 11 Gráfica del análisis de normalidad de los valores residuales de la respuesta de revirado

En la figura 12, el gráfico de control del revirado destaca una tendencia de 6 puntos hacia arriba en secuencia.



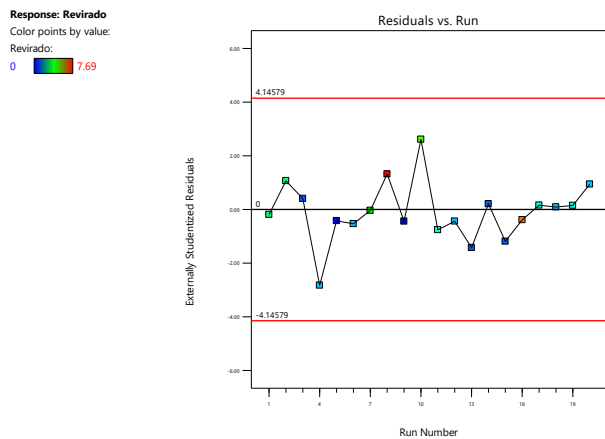


Fig. 12 Gráfica del análisis de control del proceso experimental de la respuesta de revirado

En la figura 13 la transformación de Box-Cox sugiere una transformación de raíz cuadrada con lambda de 0.5 para corregir la asimetría de la distribución. En la figura 14, el espacio experimental de la respuesta de revirado es más amplio que la del gramaje.

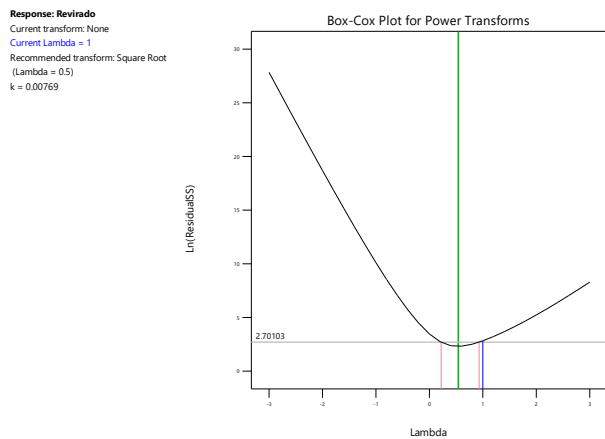


Fig. 13 Gráfica de la transformación de Box-Cox para la respuesta del revirado

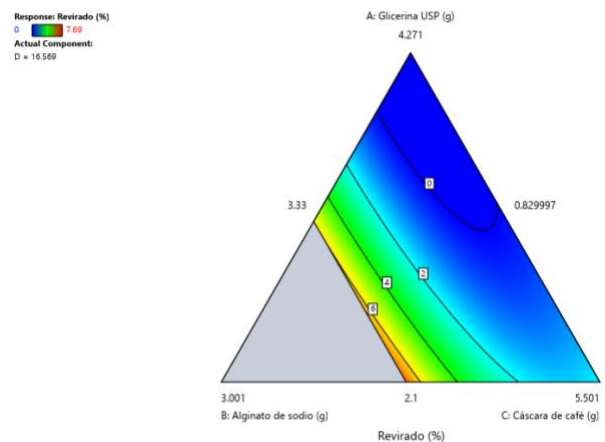


Fig. 14 Gráfica del espacio experimental de la respuesta de revirado

Se realizó un análisis de los niveles óptimos de la combinación de componentes para maximizar las respuestas, es decir que la pérdida de gramaje y revirado textil después del proceso de remojo se acercara a cero. Se utilizaron límites de -200 g a 0 g para el gramaje y de 0 % a 3 % para el revirado. Se obtuvieron 2 posibles soluciones de las cuales se sugiere partir de las cantidades de la solución 1 ya que todas tienen los mismos parámetros; altos niveles de alginato y cáscara de café y niveles medio-bajos de agua los cuales son: 3.2102 g de glicerina, 1.94 g de alginato, 7.77 g de cáscara de café y 12.078 g de agua. Dichos valores, predicen un comportamiento de una pérdida de gramaje de 193.961 g después del remojo del bio-compuesto y un revirado del 2.85189% después del remojo y secado de los bio-compuestos. Los resultados se presentan en la figura 15.

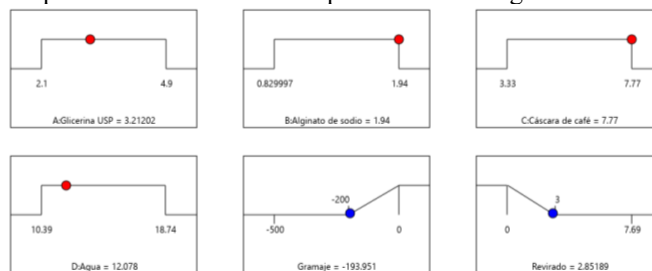


Fig. 15 Gráficas de optimización del experimento, variables y respuestas

Se encontró que los bio-compuestos elaborados de la cáscara de café presentan poca estabilidad dimensional; en la mayoría de casos se expone pérdida de gramaje de hasta 500 g después de un proceso de remojo y un porcentaje de revirado de hasta 7.69% después del secado del proceso de remojo de los bio-compuestos.

## VI. CONCLUSIONES

- 1) Se fabricaron bio-compuestos de cáscara de café y un conjunto de componentes como aglutinante (glicerina de grado vegetal) para producir una alternativa de material textil en base a investigaciones relacionadas.
- 2) Se realizó un análisis estadístico de las pruebas textiles de los bio-compuestos de cáscara de café, glicerina, alginato de sodio y agua purificada para comprender como la interacción entre los componentes de los bio-compuestos afectan su rendimiento; pierden hasta 500 gramos de gramaje y presentan un revirado de hasta 7.69%.
- 3) Se interpretó el efecto que las proporciones de cada componente (biopolímeros, plastificantes y solvente) genera en el comportamiento final de los bio-compuesto elaborados de cáscara de café. Se deben reducir las cantidades de agua y glicerina, aumentar las cantidades de alginato de sodio y cáscara de café utilizando las cantidades de: 12.078 g y 3.2102 g; 1.94 g y 7.77 g; respectivamente.
- 4) Se expusieron las características físico-mecánicas de los bio-compuestos textiles producidos de la cáscara de café del método de procesamiento húmedo del café. Los bio-

compuestos presentan poca estabilidad dimensional después del proceso de remojo.

#### REFERENCIAS

- [1] M. Ángel Hidalgo-Salazar, J. Pablo Correa-Aguirre, J. Manuel Montalvo-Navarrete, D. Fernando Lopez-Rodríguez, y A. Felipe Rojas-González, “Recycled Polypropylene-Coffee Husk and Coir Coconut Biocomposites: Morphological, Mechanical, Thermal and Environmental Studies”, en *Thermosoftening Plastics*, G. Akin Evingür, Ö. Pekcan, y D. S. Achilias, Eds. IntechOpen, 2020. doi: 10.5772/intechopen.81635.
- [2] R. A. Díaz Porras, G. L. Gaitán, y S. B. David, “Institucionalidad en las Cadenas de Café en Centroamérica”, en *Economía, Gubernanza y Sustentabilidad en América Latina*, 1a ed., México: Universidad Autónoma de Zacatecas “Francisco García Salinas”, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/19409/Institucionalidad%20en%20las%20Cadenas%20de%20Café.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [3] M. C. Echeverría, E. Pellegrino, y M. Nuti, “The Solid Wastes of Coffee Production and of Olive Oil Extraction: Management Perspectives in Rural Areas”, en *Solid Waste Management in Rural Areas*, F.-C. Mihai, Ed. InTech, 2017. doi: 10.5772/intechopen.69427.
- [4] M. Bozzola *et al.*, *The coffee guide*. International Trade Centre, 2021. doi: 10.21256/ZHAW-23941.
- [5] L. Torres-Valenzuela, J. Andrea Serna-Jiménez, y K. Martínez, “Coffee By-Products: Nowadays and Perspectives”, en *Coffee - Production and Research*, D. Toledo Castanheira, Ed. IntechOpen, 2020. doi: 10.5772/intechopen.89508.
- [6] M. K. Atahu, F. Saathoff, y A. Gebissa, “Strength and compressibility behaviors of expansive soil treated with coffee husk ash”, *J. Rock Mech. Geotech. Eng.*, vol. 11, núm. 2, pp. 337–348, abr. 2019, doi: 10.1016/j.jrmge.2018.11.004.
- [7] J. Morris, *Coffee: a global history*. London, UK: Reaktion Books, 2019.
- [8] Rodney Santacreo Ponce, “Variedades y mejoramiento genético del café”. Instituto Hondureño del Café (IHCAFE), 2012.
- [9] Rodney Santacreo Ponce, “Variedades y mejoramiento genético del café”. Instituto Hondureño del Café (IHCAFE), 2012.
- [10] A. E. Atabani *et al.*, “Valorization of spent coffee grounds into biofuels and value-added products: Pathway towards integrated bio-refinery”, *Fuel*, vol. 254, p. 115640, oct. 2019, doi: 10.1016/j.fuel.2019.115640.
- [11] P. F. Busch y J. N. França Holanda, “Potential use of coffee grounds waste to produce dense/porous bi-layered red floor tiles”, *Open Ceram.*, vol. 9, p. 100204, mar. 2022, doi: 10.1016/j.oceram.2021.100204.
- [12] K. C. Reis, L. Pereira, I. C. N. A. Melo, J. M. Marconcini, P. F. Trugilho, y G. H. D. Tonoli, “Particles of Coffee Wastes as Reinforcement in Polyhydroxybutyrate (PHB) Based Composites”, *Mater. Res.*, vol. 18, núm. 3, pp. 546–552, jun. 2015, doi: 10.1590/1516-1439.318114.
- [13] M. Banti y E. Abraham, “Coffee Processing Methods, Coffee Quality and Related Environmental Issues”, *J. Food Nutr. Sci.*, vol. 9, núm. 6, p. 144, 2021, doi: 10.11648/j.jfns.20210906.12.
- [14] L. Blinová y M. Sirotiak, “Utilization of Spent Coffee Grounds for Removal of Hazardous Substances from Water: A Review”, *Res. Pap. Fac. Mater. Sci. Technol. Slovak Univ. Technol.*, vol. 27, núm. 44, pp. 145–152, jun. 2019, doi: 10.2478/rput-2019-0015.
- [15] C. M. Galanakis, Ed., *Handbook of coffee processing by-products: sustainable applications*. London, United Kingdom: Academic Press, an imprint of Elsevier, 2017.
- [16] F. J. Cerino-Córdova, N. E. Dávila-Guzmán, A. M. García León, J. J. Salazar-Rabago, y E. Soto-Regalado, “Revalorization of Coffee Waste”, en *Coffee - Production and Research*, D. Toledo Castanheira, Ed. IntechOpen, 2020. doi: 10.5772/intechopen.92303.
- [17] R. D. Hall, F. Trevisan, y R. C. H. de Vos, “Coffee berry and green bean chemistry – Opportunities for improving cup quality and crop circularity”, *Food Res. Int.*, vol. 151, p. 110825, ene. 2022, doi: 10.1016/j.foodres.2021.110825.
- [18] T. Klingel, J. I. Kremer, V. Gottstein, T. Rajcic de Rezende, S. Schwarz, y D. W. Lachenmeier, “A Review of Coffee By-Products Including Leaf, Flower, Cherry, Husk, Silver Skin, and Spent Grounds as Novel Foods within the European Union”, *Foods*, vol. 9, núm. 5, p. 665, may 2020, doi: 10.3390/foods9050665.
- [19] C. R. Pineda Mejía, C. Reyes Fernández, y F. A. Oseguera, “Beneficiado y calidad del café”. Instituto Hondureño del Café (IHCAFE), 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.ihcafe.hn/mdocs-posts/tec-guia-beneficiado/>
- [20] Instituto Hondureño del Café, “Informe Estadístico 2019-2020”, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.ihcafe.hn/wp-content/uploads/2021/08/INFORME-FINAL-Resumen-CIERRE-EXPORTS-2019-2020-3.pdf>
- [21] K. Williamson *et al.*, “Spent coffee ground oil as a valuable source of epoxides and epoxidation derivatives: Quantitation and characterization using low-field NMR”, *LWT*, vol. 165, p. 113719, ago. 2022, doi: 10.1016/j.lwt.2022.113719.
- [22] Instituto Hondureño del Café, “Informe Estadístico 2020-2021”, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.ihcafe.hn/wp-content/uploads/2022/02/Resumen-Informe-2020-2021.pdf>
- [23] D. V. Phuong, L. P. Tan Quoc, P. Van Tan, y L. N. Doan Duy, “Production of bioethanol from Robusta coffee pulp (Coffea robusta L.) in Vietnam”, *Foods Raw Mater.*, pp. 10–17, oct. 2019, doi: 10.21603/2308-4057-2019-1-10-17.
- [24] A. Iriondo-DeHond, M. Iriondo-DeHond, y M. D. del Castillo, “Applications of Compounds from Coffee Processing By-Products”, *Biomolecules*, vol. 10, núm. 9, p. 1219, ago. 2020, doi: 10.3390/biom10091219.
- [25] A. Colantoni *et al.*, “Spent coffee ground characterization, pelletization test and emissions assessment in the combustion process”, *Sci. Rep.*, vol. 11, núm. 1, p. 5119, dic. 2021, doi: 10.1038/s41598-021-84772-y.
- [26] C. Vasco Costa Delgado, G. A. Da Cunha Santos Forman, y R. L. Antoinette Breuer, “Organic Waste Bio-Based Materials for 3D Extrusion: Eggshells, Shells Sand and Coffee grains with Sodium Alginate”, *Converg. - J. Res. Arts Educ.*, vol. 15, núm. 29, pp. 77–87, may 2022, doi: 10.53681/c1514225187514391s.29.133.
- [27] A. S. Franca y L. S. Oliveira, “Potential Uses of Spent Coffee Grounds in the Food Industry”, *Foods*, vol. 11, núm. 14, p. 2064, jul. 2022, doi: 10.3390/foods11142064.
- [28] L. H. A. D. Bello y A. F. de C. Vieira, “Tutorial for mixture-process experiments with an industrial application”, *Pesqui. Oper.*, vol. 31, núm. 3, pp. 543–564, dic. 2011, doi: 10.1590/S0101-74382011000300008.
- [29] W. D. Rahayu, U. D. Syafitri, y A. M. Soleh, “D-optimal design for ordinal responses in mixture experiments”, *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1317, núm. 1, p. 012017, oct. 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1317/1/012017.
- [30] D. R. A. Marastani, “It is not a visit; it is a journey. The Customer Journey Mapping (CJM)”, *J. Pharm. Care Health Syst.*, vol. 05, 2018, doi: 10.4172/2376-0419-C4-035.
- [31] L. A. Loureiro dos Santos, “Natural Polymeric Biomaterials: Processing and Properties ☆”, en *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*, Elsevier, 2017, p. B9780128035818023000. doi: 10.1016/B978-0-12-803581-8.02253-0.
- [32] H. Gutiérrez Pulido y R. de la Vara Salazar, *Análisis y diseño de experimentos*, 2a ed. México: McGraw-Hill, 2008.