



PROYECTO: DESARROLLO

NATALIA MARÍN QUINTERO

CÓDIGO: 2222715-3550

DOCENTE

LETY DEL PILAR FAJARDO

KAFETO

¿Cómo aprovechar la aplicación del compuesto de borra de café en combinación con PLA, para el diseño de embalajes sostenibles que reemplacen plásticos de un solo uso en frutas y hortalizas?

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE ARTES INTEGRADAS

DISEÑO INDUSTRIAL

SANTIAGO DE CALI, VALLE DEL CAUCA

COLOMBIA

2025



Tabla de contenido

RESUMEN	2
INTRODUCCIÓN	3
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.1 SITUACIÓN PROBLEMA	7
1.1.1 Antecedentes	7
1.1.2 Estado actual	9
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	16
1.3 JUSTIFICACIÓN	16
2. MARCO TEÓRICO	17
2.1 Café en Colombia	17
2.1.1 Industria cafetera en Colombia	17
2.1.2 Producción y consumo de café en Colombia	18
2.1.3 Impacto económico del café en Colombia	18
2.1.4 Historia y evolución de la caficultura en Colombia	18
2.1.5 Café de especialidad en Colombia	19
2.2 Bases conceptuales	19
2.2.1 Preservar	19
2.2.2 Conservar	19
2.2.3 Normativa ambiental	20
Ley 2232 de 2022 — Restricción, reducción y sustitución de plásticos de un solo uso	20
2.2.4 La borra de café como material	22
2.2.5 Economía circular	23
2.2.6 Las 5Rs	23
2.2.7 Ácido Poliláctico (PLA) y su relevancia en la economía circular	24
2.3 Normativa Colombiana Resolución 604 de 1993	24
2.3.1 Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC)	25
2.4 Sinergias entre el PLA y la borra de café en biocompuestos sostenibles	26
2.5 Empaques	27
2.5.1 Bioempaques	27
3. OBJETIVO GENERAL	28
3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	28
4. METODOLOGÍA	29



5. ESTADO DEL ARTE	30
6. ESTADO DE LA TÉCNICA:	34
7. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO:	42
8. PROCESO DE DISEÑO:	44
8.1.1 Descripción referencial	44
8.2 ANALOGÍAS	45
8.3 EXPLORACIÓN DE ALTERNATIVAS:	47
8.4 PROTOTIPO FÍSICO:	50
8.5 MODELADO DE LA PROPUESTA:	53
BIBLIOGRAFÍA	53

RESUMEN

El creciente consumo de café ha impulsado el uso de utensilios fabricados con polímeros derivados del petróleo, lo que agrava la contaminación ambiental debido a su baja reciclabilidad y acumulación como residuo plástico. Aunque existen alternativas reutilizables, su adopción ha sido limitada por la falta de incentivos y por hábitos de consumo profundamente arraigados. Este estudio explora el potencial de la borra de café como materia prima en el desarrollo de materiales biodegradables, evaluando su viabilidad técnica para la fabricación de utensilios sostenibles, entendidos como objetos de uso limitado, elaborados a partir de materiales renovables y de bajo impacto ambiental. Se propone el uso de biopolímeros como el ácido poliláctico (PLA) en combinación con residuos orgánicos, dada su biodegradabilidad, procesabilidad y compatibilidad con refuerzos lignocelulósicos. En este contexto, se busca determinar cuál sería la formulación más adecuada o eficiente para la producción de utensilios contenedores, considerando



propiedades como resistencia mecánica, rigidez, estabilidad dimensional y aislamiento térmico. Estudios previos indican que proporciones entre 10 % y 30 % de borra de café pueden mejorar ciertas propiedades físicas del material, aunque su comportamiento depende de variables como la dispersión del residuo, la adhesión con la matriz polimérica y las condiciones de procesamiento. A pesar de desafíos como los costos de producción, la aceptación por parte del usuario y la necesidad de cumplir con normativas específicas, los subproductos del café presentan un alto potencial para reducir el impacto ambiental del plástico convencional, siempre que su implementación se base en formulaciones técnicamente viables y estrategias integrales de aprovechamiento dentro de un enfoque de economía circular.

PALABRAS CLAVE

Borra de café, Economía circular, Productos biodegradables, Reducción de plásticos, Sostenibilidad

INTRODUCCIÓN

El plástico ha sido una de las invenciones más influyentes de la era moderna, transformando profundamente la industria y facilitando múltiples actividades cotidianas. Sin embargo, su impacto ambiental ha alcanzado niveles críticos. Desde mediados del siglo XX, la producción global de plásticos ha experimentado un crecimiento exponencial, pasando de 1,5 millones de toneladas anuales a 390 millones de toneladas en 2021 (Dordevic et al., 2024). Una gran proporción de estos materiales corresponde a productos de un solo uso que, tras cumplir su función, terminan en vertederos, océanos o degradados en microplásticos que contaminan ecosistemas. Se estima que únicamente el 9 % de los plásticos producidos ha sido reciclado, mientras que cerca del 71 % se acumula en entornos naturales, generando graves afectaciones a la biodiversidad (Dordevic et al., 2024).

En Colombia, uno de los sectores en los que este problema se hace especialmente visible es el hortofrutícola, un subsector agroindustrial que abastece frutas y hortalizas para el consumo diario. Estos productos suelen comercializarse en bandejas elaboradas con poliestireno expandido (icopor) o tereftalato de polietileno (PET), materiales que generalmente se utilizan una sola vez y luego se desechan sin una adecuada separación en la fuente. Esta práctica contribuye a la acumulación de residuos no biodegradables y a la deficiente gestión de los desechos sólidos, agravando los problemas ambientales en vertederos y cuerpos hídricos.

De forma paralela, el sector cafetero nacional ha presentado un notable crecimiento en los últimos años. En 2023, la demanda interna de café alcanzó los \$2,8 billones, lo que representa un aumento del 28 % respecto a 2021; además, se proyecta que en 2024 supere los \$3 billones (Alguero, 2024). Este incremento también se refleja en la producción: en mayo de 2024 se registró un aumento del 38,9 % frente al mismo mes del año anterior (Alguero, 2024). Aunque este crecimiento dinamiza la economía, también genera grandes volúmenes de subproductos —entre ellos la borra de café— que en su mayoría no son aprovechados de forma eficiente.

Este escenario plantea la necesidad de repensar los modelos de gestión de residuos e impulsar la investigación y el desarrollo de materiales alternativos que contribuyan a cerrar los ciclos de vida de los recursos. En este contexto, la combinación de la borra de café con biopolímeros como el ácido poliláctico (PLA) se perfila como una oportunidad para generar biocompuestos sostenibles capaces de sustituir materiales plásticos convencionales en aplicaciones de envasado y comercialización de productos frescos.

Estudios recientes respaldan esta posibilidad. Investigaciones como la de Murillo Usuga et al. (2023) han demostrado que es viable incorporar residuos de café en matrices de PLA sin comprometer significativamente sus propiedades mecánicas. Estos avances amplían el potencial de uso de los biocompuestos en sectores como la impresión 3D, los envases compostables y los productos utilitarios, aportando valor funcional y ambiental dentro de modelos productivos circulares.

En consecuencia, este trabajo tiene como propósito explorar el potencial del biocompuesto de PLA y borra de café como alternativa sostenible para la fabricación de bandejas destinadas al

sector hortofrutícola. A lo largo del estudio se analizarán sus propiedades, beneficios ambientales y los retos asociados a su implementación, con el objetivo de aportar a la construcción de soluciones innovadoras que promuevan una gestión más responsable y sostenible de los materiales.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La agroindustria juega un papel crucial en la economía de los países, transformando los productos provenientes de sectores como la agricultura, la pesca y la actividad forestal. En Colombia, este sector no solo es un motor de la economía nacional, representando el 6,2 % del Producto Interno Bruto (PIB), sino que también genera empleo y contribuye al aumento del valor agregado de los productos primarios (Vargas, 2015; Vargas Corredor & Pérez Pérez, 2018). A pesar de su relevancia, la agroindustria enfrenta el desafío de gestionar adecuadamente los subproductos que genera, los cuales, en su mayoría, no reciben el tratamiento necesario y terminan siendo desechados sin un aprovechamiento efectivo. Esto contribuye a una creciente contaminación de suelos, aguas y ecosistemas, generando un impacto ambiental considerable a nivel global (Yepes et al., 2008).

En este contexto, la cadena hortofrutícola en Colombia representa un claro ejemplo de la magnitud de la producción agroindustrial y de los desafíos ambientales asociados. Este sector está compuesto por más de 30 cultivos, principalmente tomate, cebolla, zanahoria, arveja y lechuga, y se caracteriza por estar en manos de pequeños productores: el 75 % de los predios tienen menos de 3 hectáreas. A nivel nacional, la producción hortícola supera los 2,3 millones de toneladas anuales, con más de 120 000 hectáreas cosechadas, concentrándose en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Antioquia y Nariño. Esta cadena genera aproximadamente 350 000 empleos anuales, de los cuales 117 000 son directos y 233 000 indirectos, lo que demuestra su relevancia económica y social. Sin embargo, la mayor parte de la producción se comercializa en fresco, lo que limita la generación de valor agregado y contribuye al aumento de residuos orgánicos sin un aprovechamiento adecuado. Esta situación refleja un reto compartido por diversas cadenas agroindustriales en Colombia, en las que la falta de

estrategias de valorización limita el potencial de sostenibilidad y competitividad del sector (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, 2020).

El consumo de café en Colombia ha experimentado un crecimiento sostenido en los últimos años, alcanzando en 2023 una demanda interna de \$2,8 billones, lo que refleja tanto su importancia cultural y económica como la magnitud de los residuos que se generan (Alguero, 2024). Estos residuos, que en su mayoría no reciben un tratamiento adecuado, terminan siendo desechos orgánicos que pueden tener efectos perjudiciales sobre el medio ambiente. Este panorama resalta la necesidad urgente de encontrar soluciones para gestionar adecuadamente estos subproductos y contribuir a la reducción del impacto ambiental que ocasionan.

A su vez, el problema global de la contaminación por plásticos, especialmente aquellos de un solo uso, ha hecho evidente la urgente necesidad de explorar alternativas más sostenibles para la producción de materiales. Según la Red de Desarrollo Sostenible (2021), más de 9 mil millones de toneladas de plástico han sido producidas a nivel mundial, de las cuales solo el 9% ha sido reciclado, mientras que el resto termina en vertederos, océanos o se descompone en microplásticos, afectando la biodiversidad y la salud humana. Este contexto ha impulsado el desarrollo de biocompuestos a base de polímeros biodegradables, como el ácido poliláctico (PLA), y residuos orgánicos, que surgen como una alternativa viable para sustituir los plásticos derivados del petróleo.

La incorporación de la borra de café como refuerzo en estos biocompuestos ha demostrado ser una opción eficaz, mejorando tanto las propiedades mecánicas como las ambientales de los materiales. Según investigaciones como las de Murillo Usuga et al. (2023), es posible integrar residuos de café en matrices de PLA para producir filamentos de impresión 3D, sin afectar significativamente las propiedades del producto final. Esta integración promueve la economía circular, ya que aprovecha un subproducto de la industria cafetera para crear materiales más sostenibles.

Sin embargo, a pesar de su potencial, la implementación de biocompuestos en la agroindustria sigue enfrentando barreras significativas, como la falta de conocimiento técnico sobre las propiedades, aplicaciones y procesos de transformación de estos materiales. Esta falta de

comprensión impide su integración efectiva en el mercado, especialmente en regiones productoras de café como Colombia (Vargas Corredor & Pérez Pérez, 2018). Por lo tanto, es fundamental impulsar investigaciones que desarrollen soluciones sostenibles, no solo para dar valor a los subproductos agroindustriales, sino también para reducir los impactos ambientales derivados de su manejo inadecuado.

En este sentido, la borra de café presenta un gran potencial para ser incorporada en biocompuestos, mejorando sus propiedades mecánicas y térmicas. Investigaciones recientes, como las de Romani et al. (2024), han demostrado que la borra de café puede ser utilizada en procesos de fabricación aditiva a gran escala, como la impresión 3D, logrando la creación de estructuras complejas sin la necesidad de soportes, lo que optimiza los costos y procesos de producción. Este enfoque no solo fortalece la cadena de valor de los residuos orgánicos, sino que también abre nuevas oportunidades para su aplicación en sectores como el mobiliario, interiorismo y productos de exhibición.

1.1 SITUACIÓN PROBLEMA

1.1.1 Antecedentes

La industria cafetera es una de las más representativas a nivel global, tanto por su impacto económico como por su arraigo cultural, especialmente en países productores como Colombia. Desde finales del siglo XIX, el café se consolidó como el eje central del desarrollo económico colombiano, impulsando una transformación agraria profunda y fortaleciendo el tejido social y político del país. Este proceso estuvo acompañado por la creación de instituciones gremiales como la Federación Nacional de Cafeteros (1927) y por la promoción de estudios históricos desde entidades como la Comisión de Historia del Café, que buscaban documentar y analizar el papel del café en la configuración de la nación (Palacios, 2009).

El cultivo y consumo del café han dado origen a complejas cadenas de valor que han promovido el desarrollo tanto rural como urbano, posicionando a Colombia como uno de los principales exportadores de café arábica suave. Factores como la ubicación geográfica, los suelos volcánicos y la diversidad de microclimas han contribuido decisivamente a la producción de un café de alta calidad (Econatur, s.f, 2024)

No obstante, el crecimiento productivo también ha acarreado nuevos desafíos, entre ellos el aumento en la generación de residuos orgánicos, como la borra de café (que también puede conocerse como “posos”). Este subproducto, resultado del proceso de preparación de la bebida, ha sido tradicionalmente descartado, a pesar de contar con un alto potencial de valorización gracias a sus propiedades fisicoquímicas. Investigaciones recientes señalan que la borra contiene más del 60% de humedad y una rica composición en compuestos bioactivos como polifenoles, alcaloides, ácidos fenólicos, además de celulosa, hemicelulosa, proteínas y grasas, lo cual le otorga propiedades antioxidantes y antimicrobianas (Murillo Usuga et al., 2023).

Este potencial ha despertado un creciente interés en su aprovechamiento en áreas como la producción de bioplásticos, fertilizantes, biocombustibles y, especialmente, biocompuestos sostenibles. En particular, la incorporación de borra de café en matrices biodegradables como el ácido poliláctico (PLA) ha demostrado beneficios tanto en propiedades mecánicas como ambientales, promoviendo así una reducción en el uso de plásticos derivados del petróleo y fortaleciendo las prácticas de economía circular (Kourmentza et al., 2018).

Este enfoque se alinea con los esfuerzos globales por mitigar el impacto ambiental de los residuos agroindustriales y optimizar el uso de los recursos disponibles. Además, fomenta la innovación en el desarrollo de nuevos materiales. Estudios recientes han validado el uso de borra de café en fabricación aditiva (impresión 3D), permitiendo la creación de geometrías complejas y reduciendo los costos de reprocesamiento de materiales, con aplicaciones destacadas en sectores como el mobiliario, el diseño interior y los productos de exhibición (Romani et al., 2024).

En consecuencia, la borra de café emerge como un subproducto con alto valor estratégico en la transición hacia modelos productivos más sostenibles, donde la innovación material y la

economía circular se posicionan como pilares fundamentales del desarrollo tecnológico y ambiental.

1.1.2 Estado actual

El análisis cualitativo de la información recolectada a través de encuestas, observaciones y trabajo de campo evidencia una conciencia ambiental emergente en los hábitos de consumo tanto de productos hortofrutícolas empacados como de café en establecimientos comerciales. En el caso de los productos hortofrutícolas, los consumidores manifestaron una insatisfacción moderada con los empaques actuales —principalmente elaborados en poliestireno expandido o plástico convencional—, percibiéndolos como inadecuados y excesivos en volumen. Esta percepción se acompaña de un alto interés en alternativas biodegradables o ecológicas, lo que refleja una disposición favorable hacia prácticas de ecodiseño y consumo responsable. No obstante, las prácticas postconsumo revelan una brecha entre la intención y la acción ambiental: aunque algunos usuarios separan o reutilizan los empaques, la mayoría aún los desecha junto con los residuos comunes, lo que limita el impacto positivo de dicha conciencia ambiental.

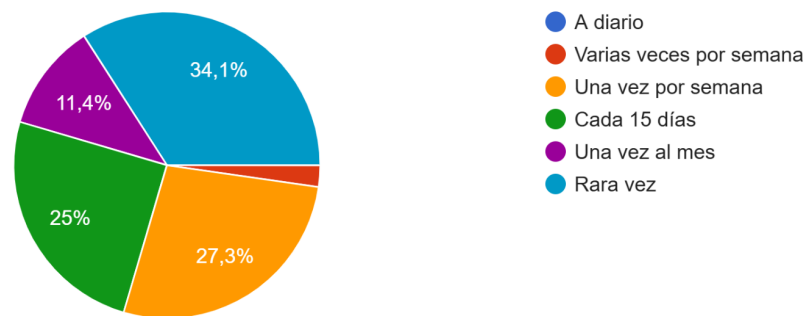
De manera complementaria, el estudio sobre los hábitos de consumo de café fuera del hogar permitió evidenciar un flujo constante de generación de residuos orgánicos, particularmente de borra de café. A través de encuestas y visitas exploratorias a diferentes puntos de venta —entre ellos cadenas como Juan Valdez, Starbucks y Café Quindío— se identificó que diariamente se comercializan entre 100 y 300 vasos de café, dependiendo de la ubicación y la afluencia de clientes. Dado que la borra de café representa aproximadamente el 90 % del peso original del café molido, este volumen de ventas se traduce en una generación considerable de residuos que, en la mayoría de los casos, no recibe ningún tipo de separación o aprovechamiento.

Una situación similar se evidenció en entornos académicos, como en la cafetería “La Chisga” de una institución universitaria, donde se reporta una venta promedio de 50 a 150 vasos diarios. En este espacio, la borra de café se desecha junto con otros residuos como envases plásticos, servilletas, bolsas de leche y restos de alimentos, lo que dificulta su recolección y limita su potencial de valorización como materia prima para el desarrollo de productos sostenibles. En conjunto, estos hallazgos reflejan un perfil de consumidor informado y con disposición al

cambio, pero restringido por las opciones disponibles en el mercado y la falta de sistemas de gestión de residuos adecuados. Este panorama plantea la necesidad de repensar los sistemas de envasado y aprovechamiento de residuos desde enfoques más sostenibles, accesibles y articulados con las dinámicas reales de consumo y disposición.

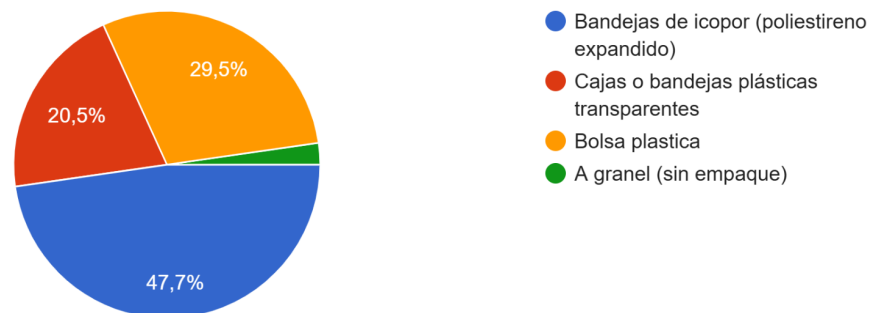
¿Con qué frecuencia compra productos hortofrutícolas empacados (como fresas, arándanos, tomates cherry, champiñones, etc.)?

44 respuestas



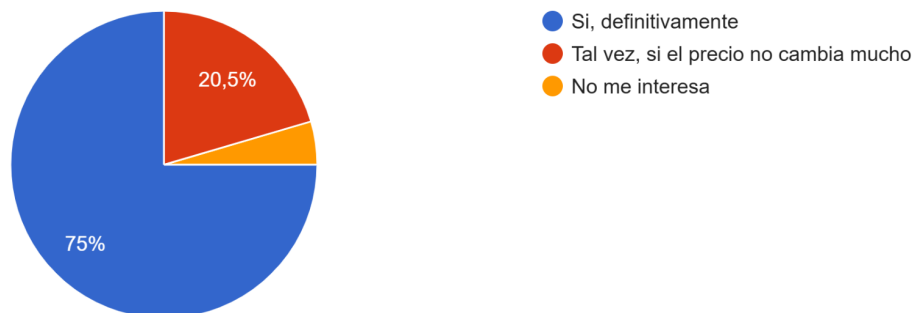
Generalmente, ¿en qué tipo de empaque vienen estos productos cuando los compra?

44 respuestas



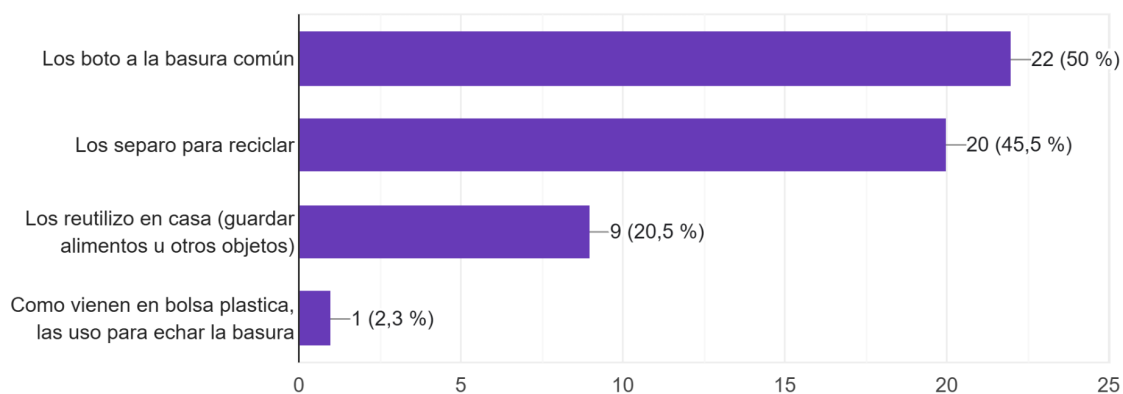
¿Le gustaría que estos productos vinieran en empaques biodegradables?

44 respuestas



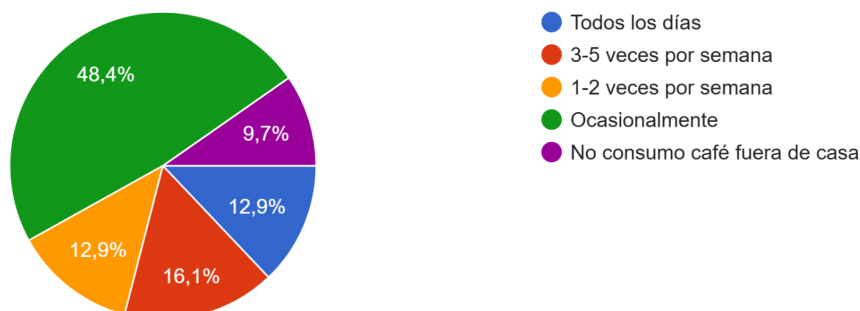
¿Qué suele hacer con los empaques después de consumir los productos? (puede marcar mas de una opción)

44 respuestas



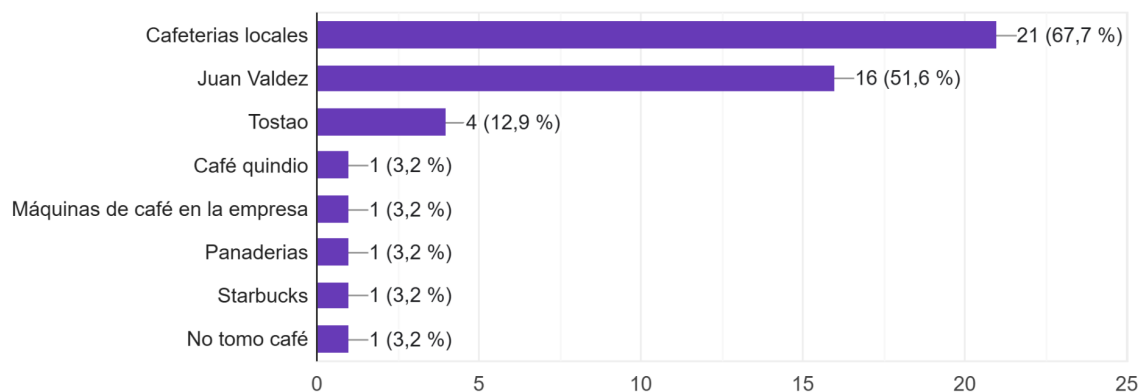
¿Con qué frecuencia consumes café fuera de casa?

31 respuestas



¿Dónde sueles comprar café fuera de casa? (Selecciona todas las que apliquen)

31 respuestas



Con el objetivo de validar el comportamiento físico de la borra de café y su potencial en combinación con ácido poliláctico (PLA) para la creación de biocompuestos, se seleccionaron residuos provenientes de cuatro marcas de café:

- Café Águila Roja

- Café Ekono (marca blanca del Grupo Éxito)
- Juan Valdez — línea Colina
- Madre Monte, café de especialidad producido en Chisquío, Cauca.

Durante la recolección se observaron diferencias notorias en cuanto a la textura, color y aroma de la borra. En el caso de Águila Roja y Ekono, ambos con molienda fina, la borra presentó una consistencia más compacta y pastosa después de ser extraída de una cafetera tipo moka italiana. Por su parte, la muestra de Juan Valdez presentó una molienda media, manteniendo una textura uniforme y un color similar a las marcas anteriores. Finalmente, la borra proveniente del café de especialidad Madre Monte se destacó por un tono más amarillento y un aroma particular, con notas achocolatadas perceptibles, lo que sugiere variaciones en la composición física y química dependiendo del origen y el proceso de tuestión.



café Aguila Roja y Ekono





café Juan Valdez - Linea Colina



Madre Monte, café de especialidad producido en Chisquío, Cauca.

Estos hallazgos reafirman la disponibilidad de la borra de café como residuo constante en el entorno comercial y académico, y permiten considerar sus propiedades variables como un factor importante para su estudio y posterior transformación en biocompuestos sostenibles.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo aprovechar la aplicación del compuesto de borra de café en combinación con PLA, para el diseño de embalajes sostenibles que reemplacen plásticos de un solo uso en frutas y hortalizas?

1.3 JUSTIFICACIÓN

El consumo de café, especialmente en establecimientos comerciales, genera una cantidad significativa de residuos, principalmente la borra de café, que generalmente se descarta sin aprovecharse. Este subproducto tiene propiedades interesantes, como compuestos bioactivos y antioxidantes, que podrían ser utilizados en la fabricación de biocompuestos sostenibles (Dordevic et al., 2024). La borra de café, al ser rica en celulosa y otros compuestos, tiene el potencial de ser transformada en materiales biodegradables, reduciendo así la dependencia de productos plásticos derivados del petróleo y contribuyendo a la disminución de la contaminación ambiental (Wang et al., 2022).

En Colombia, el aumento del consumo de café, junto con la falta de gestión adecuada de residuos en lugares de alto tráfico como cafeterías, ha exacerbado la problemática de los desechos. Este trabajo de grado propone investigar cómo la borra de café puede ser utilizada en la creación de biocompuestos, ofreciendo una alternativa viable para reducir los residuos generados en la industria cafetera, alineándose con la Ley 2232 de 2022, que promueve la eliminación gradual de plásticos de un solo uso para 2030 (Congreso de Colombia, 2022), y con la Resolución 1407 de 2018, que impulsa la responsabilidad extendida del productor en la gestión de residuos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018).

La valorización de residuos agroindustriales a través de su incorporación en biocompuestos constituye una estrategia clave para avanzar hacia modelos productivos sostenibles. La borra de café, al ser un subproducto abundante y de bajo costo, se ha consolidado como un material prometedor para sustituir parcialmente polímeros convencionales en aplicaciones industriales. Investigaciones recientes evidencian que su incorporación en proporciones controladas no solo reduce la dependencia de recursos fósiles, sino que también disminuye la huella de carbono asociada a la producción de plásticos tradicionales. Asimismo, la naturaleza biodegradable y compostable de estos compuestos favorece su integración en ciclos de economía circular, alineándose con las metas regulatorias y ambientales que buscan la reducción progresiva de plásticos de un solo uso (Drewnowski, 2024). Esta base científica respalda la pertinencia de explorar su aplicación en el contexto colombiano, particularmente en sectores que generan altos volúmenes de residuos, como el hortofrutícola y el cafetero.

2. MARCO TEÓRICO

Este apartado aborda el aprovechamiento de la borra de café como un subproducto agroindustrial con potencial para la creación de biocompuestos. Se exploran sus propiedades físicas y químicas, así como su viabilidad para ser transformada en materiales innovadores que contribuyan a la economía circular, fomentando la revalorización de residuos y reduciendo el impacto ambiental generado por la industria cafetera.

2.1 Café en Colombia

2.1.1 Industria cafetera en Colombia

La industria cafetera es un pilar clave de la economía y cultura colombiana. Desde su introducción en el siglo XVIII, el café ha sido uno de los productos más representativos de Colombia, siendo crucial para el desarrollo económico, especialmente en zonas rurales donde miles de familias dependen de su cultivo. Actualmente, Colombia es reconocida globalmente como el segundo mayor productor de café arábica, con un enfoque en la calidad y la sostenibilidad de su producción (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2023). Sin

embargo, la producción masiva de café genera una cantidad significativa de residuos, como la borra de café, lo que plantea retos tanto en términos de manejo de residuos como de sostenibilidad en los procesos productivos.

2.1.2 Producción y consumo de café en Colombia

La producción de café en Colombia se mantiene estable, alcanzando 12,75 millones de sacos en la cosecha 2023-2024 (Federación Nacional de Cafeteros, 2024). Sin embargo, factores como el cambio climático y la volatilidad de los precios internacionales han generado desafíos en la rentabilidad del sector. A nivel de consumo interno, en 2022-2023 se registró un consumo de 2,2 millones de sacos, con una leve disminución en comparación con años anteriores debido a la inflación y cambios en los hábitos de consumo (FNC, 2023). Este consumo masivo también está vinculado a un incremento en la generación de residuos, en particular de envases desechables que podrían reducirse a través de soluciones más sostenibles basadas en la economía circular.

2.1.3 Impacto económico del café en Colombia

El café representa una fuente significativa de ingresos para el sector agrícola colombiano, generando más de \$2,8 billones en 2023, con perspectivas de crecimiento (Alguero, 2024). Además, el sector cafetero proporciona empleo a más de 500,000 familias, lo que refuerza su importancia para el desarrollo rural del país (DANE, 2023). Sin embargo, la volatilidad de los precios y los costos de producción siguen siendo retos para mantener la estabilidad del sector. Asimismo, el manejo de los residuos generados por la industria representa un desafío económico adicional que, al ser abordado adecuadamente, podría generar valor a través de la valorización de subproductos como la borra de café.

2.1.4 Historia y evolución de la caficultura en Colombia

Desde sus inicios, la caficultura colombiana ha transitado de pequeñas plantaciones de café destinadas al consumo local a una industria globalmente competitiva. En las últimas décadas, ha evolucionado hacia un modelo más sostenible, enfocado en el comercio justo y la producción orgánica, lo que contribuye a mitigar el impacto ambiental de los procesos de cultivo y postcosecha (Palacios, 2020).

2.1.5 Café de especialidad en Colombia

El café de especialidad ha emergido como una tendencia clave en la industria cafetera colombiana. Con un crecimiento del 20% en los últimos cinco años (FNC, 2023), el mercado de cafés de alta calidad ha ganado adeptos tanto a nivel local como internacional, impulsado por consumidores que valoran la trazabilidad, la sostenibilidad y las experiencias sensoriales únicas. Este segmento está promoviendo el fortalecimiento de cooperativas de pequeños productores y nuevos modelos de comercialización basados en la diferenciación y calidad.

2.2 Bases conceptuales

2.2.1 Preservar

La Real Academia Española (2020) define *preservar* como proteger o resguardar de forma anticipada a alguien o algo frente a un daño o peligro.

2.2.2 Conservar

Por su parte, *conservar* se entiende como mantener o cuidar la permanencia e integridad de algo o alguien (Real Academia Española, 2020).

Al comparar ambos términos, aunque pueden parecer similares, tienen alcances distintos dentro del contexto alimentario:

- Preservar hace referencia a las acciones o tratamientos que previenen el deterioro de los alimentos, protegiéndolos de agentes químicos, biológicos o físicos que puedan comprometer su calidad o seguridad.
- Conservar implica la aplicación de procesos y métodos que permiten mantener las propiedades del alimento y prolongar su vida útil, asegurando que pueda ser almacenado y consumido posteriormente en condiciones óptimas.

En síntesis, *preservar* se relaciona con prevenir daños en el alimento desde el inicio, mientras que *conservar* se enfoca en mantener sus características y calidad durante el tiempo de almacenamiento y consumo.

2.2.3 Normativa ambiental

De acuerdo con la Constitución Política de Colombia (Función Pública, 1991), toda persona tiene el derecho fundamental a disfrutar de un ambiente sano, considerado esencial para su desarrollo y bienestar.

Artículo 79. Toda persona tiene derecho a gozar de un entorno saludable. La ley garantizará la participación ciudadana en las decisiones que puedan afectarlo. Asimismo, corresponde al Estado proteger la diversidad y la integridad ambiental, conservar las zonas de especial interés ecológico y fomentar la educación ambiental para alcanzar estos objetivos.

Artículo 80. El Estado es responsable de planificar el uso y gestión de los recursos naturales con el fin de asegurar su aprovechamiento sostenible, conservación, recuperación o reemplazo. Igualmente, deberá prevenir y controlar los factores que deterioren el ambiente, imponer sanciones legales y exigir la reparación de los daños ocasionados.

Como se mencionó anteriormente, las actividades industriales y el uso de recursos naturales pueden impactar de manera directa o indirecta el entorno. Hoy en día, los consumidores valoran cada vez más a las empresas que adoptan prácticas y productos sostenibles. Para mantenerse competitivas y relevantes en el mercado, las empresas deben implementar estrategias de responsabilidad social y ambiental. Esto no solo les permite diferenciarse frente a la competencia, sino que también contribuye a la protección de los derechos fundamentales relacionados con el medio ambiente (Función Pública, 2020).

Ley 2232 de 2022 — Restricción, reducción y sustitución de plásticos de un solo uso

El 7 de julio de 2022, el Congreso de la República de Colombia promulgó la Ley 2232 de 2022 (Cancillería, 2022), la cual establece medidas para disminuir progresivamente la producción y consumo de ciertos plásticos de un solo uso, además de fijar otras disposiciones complementarias. Con esta normativa, se prohibió la comercialización, distribución e ingreso al país de diversos productos detallados en el capítulo 2, artículo 4 y enumerados en el artículo 5 de la ley. A continuación, se listan dichos productos:



1. Bolsas para punto de pago destinadas a embalar o transportar productos, excepto las reutilizables o de uso industrial.
2. Bolsas para embalar periódicos, revistas, material publicitario y facturas, así como las empleadas por lavanderías.
3. Rollos de bolsas vacías en supermercados o tiendas para empacar alimentos o mercancías, excepto productos animales crudos.
4. Envases y empaques, recipientes y bolsas para líquidos no preenvasados, tanto para consumo inmediato como para llevar o domicilios.
5. Platos, bandejas, cubiertos (cuchillos, tenedores, cucharas), vasos y guantes para comer.
6. Mezcladores y pitillos (pajillas).
7. Soportes plásticos para bombas de inflar.
8. Artículos como confeti, manteles y serpentinas.
9. Envases o recipientes para transportar comidas no preenvasadas, destinados a consumo inmediato o domicilios.
10. Láminas usadas para servir, envolver o separar alimentos para consumo inmediato, para llevar o entregas.
11. Soportes plásticos para hisopos con puntas de algodón.
12. Mangos y soportes plásticos de hilo dental de un solo uso.

13. Adhesivos, etiquetas u otros distintivos que se adhieran a vegetales.

14. Empaques y envases para la venta directa al consumidor de frutas, verduras y tubérculos con cáscara natural, hierbas aromáticas, hortalizas y hongos frescos.

La ley establece un periodo de transición: para los productos mencionados en los numerales 1, 2, 3, 6, 7 y 11, el plazo es de dos años desde la entrada en vigencia de la ley; para los numerales 4, 5, 8, 9, 10, 12, 13 y 14, el plazo es de ocho años.

Para lograr estos objetivos, es fundamental la colaboración tanto del sector público como del privado, con el fin de incentivar el desarrollo y uso de alternativas sostenibles. Este proyecto de grado precisamente busca contribuir a esta transición, explorando y promoviendo opciones que sustituyan el uso de plásticos de un solo uso. Además, es importante resaltar que la Ley enfatiza repetidamente la responsabilidad extendida de productores y consumidores en la gestión y reducción de estos materiales.

2.2.4 La borra de café como material

La borra de café es un subproducto resultante del proceso de preparación del café. Es la pulpa húmeda que queda después de extraer el líquido del grano de café. Este material es comúnmente desechado, pero en su forma natural tiene propiedades que lo hacen adecuado para ser reutilizado en la creación de biocompuestos sostenibles. La borra de café tiene características interesantes como alta absorción de humedad, resistencia mecánica moderada y una estructura fibrosa que facilita su integración en matrices compuestas. Además, su contenido de celulosa y compuestos fenólicos ofrece beneficios adicionales, como propiedades antioxidantes que pueden aportar ventajas al desarrollo de nuevos productos. A pesar de ser un residuo, la borra de café tiene el potencial de ser un recurso valioso cuando se procesa adecuadamente para su uso en aplicaciones industriales (Vázquez et al., 2020).

2.2.5 Economía circular

La economía circular es un enfoque innovador frente al modelo tradicional lineal, que va de la extracción de recursos naturales a la generación de desechos. Este modelo busca optimizar el ciclo de vida de los materiales a través de prácticas como la reutilización, reciclaje y reacondicionamiento, minimizando el desperdicio y el agotamiento de recursos naturales. Es una solución que promueve la sostenibilidad, la innovación y la creación de nuevos modelos económicos, favoreciendo la creación de productos más duraderos y responsables con el medio ambiente (Fundación Ellen MacArthur, 2015). En el contexto de la industria cafetera, la economía circular ofrece oportunidades clave para transformar subproductos como la borra de café en materiales útiles, reduciendo el impacto ambiental de los desechos generados.

2.2.6 Las 5Rs

- **Reducir:** Minimizar la cantidad de residuos generados desde el origen, favoreciendo el consumo responsable y la producción de bienes duraderos y sostenibles (Ecoticias.com, 2012). En la industria cafetera, esto implica reducir la cantidad de borra de café que se desecha de manera ineficiente.
- **Reciclar:** Reincorporar materiales a nuevos procesos productivos, reduciendo la extracción de recursos y el impacto ambiental (Lara González, 2008). La borra de café puede ser reciclada y transformada en nuevos productos, como biocompuestos.
- **Reutilizar:** Extender la vida útil de los productos a través de su reutilización, evitando desechos innecesarios (Lara González, 2008). En el caso de la borra de café, esto implica encontrar aplicaciones en las que pueda ser aprovechada antes de ser descartada.
- **Recuperar:** Recuperar materiales y energía de productos ya utilizados, reduciendo el volumen de residuos y maximizando su valor (Manjón, 2020). La valorización de la borra de café es una forma de recuperar su valor, integrándola en nuevos procesos productivos sostenibles.

- **Reeducar:** Promover una educación ambiental que impulse hábitos de consumo responsable y una mayor conciencia sobre el impacto ambiental de nuestras acciones (Cánovas Martín, 2002). La sensibilización sobre los beneficios de la economía circular en la industria cafetera puede contribuir a la integración de la borra de café en biocompuestos sostenibles.

2.2.7 Ácido Poliláctico (PLA) y su relevancia en la economía circular

El Ácido Poliláctico (PLA) es un polímero biodegradable derivado de fuentes renovables como el almidón de maíz y la yuca. A medida que los plásticos derivados del petróleo generan preocupaciones medioambientales, el PLA ha emergido como una alternativa sostenible, pues se descompone naturalmente en compostaje industrial, reduciendo el impacto ambiental de los residuos plásticos. Su capacidad para integrarse en la economía circular lo convierte en una opción clave para sustituir plásticos convencionales, especialmente en productos de corta duración (Tsuji, 2022).

2.3 Normativa Colombiana Resolución 604 de 1993

Según la Resolución 604 de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia, las condiciones sanitarias establecidas aplican a todas las personas naturales o jurídicas que preparen o vendan alimentos para consumo humano en el espacio público a nivel nacional. Estas actividades deben cumplir estrictamente las normas señaladas en la resolución y en las disposiciones que la modifiquen, así como en las regulaciones municipales sobre el uso del espacio público. De igual manera, las normas también abarcan los lugares donde se elaboran los alimentos, los puntos de venta y los vehículos utilizados para su distribución.

La norma precisa que las disposiciones higiénico-sanitarias se aplican exclusivamente a ventas formales de alimentos en la vía pública que hayan sido organizadas, reubicadas y autorizadas por las autoridades competentes, en concordancia con la Constitución y la reglamentación municipal.

En el Capítulo II se detallan los requisitos sanitarios que deben cumplir los manipuladores-vendedores, desde el artículo 3 hasta el 8, destacando aspectos como el uso de vestimenta adecuada, el lavado correcto de manos y la prohibición de usar accesorios u objetos

en las manos durante la manipulación de alimentos. Asimismo, los artículos 9 al 12 señalan la obligación de recibir capacitación certificada en manipulación higiénica de alimentos, con una duración mínima de 12 horas, impartida por entidades autorizadas. Los artículos 13 al 23 regulan las condiciones del puesto de venta, contemplando materiales, disposición y limpieza del área de trabajo. Posteriormente, los artículos 24 al 38 especifican las condiciones de preparación, servicio y transporte de los alimentos. El Capítulo III establece los requisitos para la obtención del permiso sanitario, el registro y el control para ejercer esta actividad (artículos 39 al 44). Finalmente, el Capítulo IV define las responsabilidades de vigilancia y control sanitario por parte de las autoridades territoriales de salud, con el fin de garantizar el cumplimiento de las disposiciones de la resolución de manera permanente (Ministerio de Salud, 1993).

2.3.1 Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC)

De acuerdo con ICONTEC (s.f.), en los últimos años la agricultura ha avanzado hacia modelos productivos más sostenibles y eficientes, donde la calidad e inocuidad de los alimentos desempeñan un papel fundamental dentro de los procesos agroalimentarios. En este marco, las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) se entienden como el conjunto de actividades relacionadas con la producción, manejo y transporte de productos agropecuarios, orientadas a asegurar la inocuidad del alimento, la protección del medio ambiente y el bienestar de los trabajadores del sector.

Asimismo, ICONTEC (s.f.) resalta que, debido a la globalización y a la expansión de las cadenas productivas, la seguridad alimentaria adquiere mayor relevancia, puesto que los riesgos asociados pueden presentarse en cualquier etapa del proceso. En este sentido, la norma NTC-ISO 22000:2005 establece un sistema de gestión de inocuidad basado en el control preventivo y la comunicación permanente entre todos los actores de la cadena alimentaria, desde la producción primaria hasta el consumo final.

La norma enfatiza la “garantía de la inocuidad alimentaria en toda la cadena alimentaria” y la necesidad de una “comunicación interactiva a lo largo de la cadena alimentaria”, lo que implica que cada etapa debe asegurar condiciones adecuadas para prevenir riesgos que comprometan la salud del consumidor. De este modo, ICONTEC señala que la inocuidad no depende únicamente de la fase final del proceso, sino de la integración de controles preventivos, capacitación y mecanismos de trazabilidad durante cada eslabón productivo.

En síntesis, las BPA y la norma NTC–ISO 22000:2005 refuerzan la importancia de adoptar prácticas seguras y sostenibles en la producción de alimentos, estableciendo lineamientos claros para mantener la inocuidad desde el origen hasta el consumidor, mediante procedimientos de control, comunicación y gestión continua dentro de la cadena alimentaria.

2.4 Sinergias entre el PLA y la borra de café en biocompuestos sostenibles

Estudios recientes han profundizado en la comprensión de las interacciones fisicoquímicas entre los residuos de café y las matrices poliméricas biodegradables. La borra de café presenta una composición rica en lignina, celulosa y compuestos fenólicos, lo que favorece su integración como refuerzo lignocelulósico en biocompuestos. La aplicación de tratamientos físicos como el secado controlado y la molienda fina ha demostrado mejorar significativamente la dispersión de las partículas dentro de la matriz de ácido poliláctico (PLA), optimizando así la adhesión interfacial y la estabilidad térmica del material resultante. De esta manera, se incrementa la resistencia mecánica y la rigidez estructural sin comprometer la biodegradabilidad del compuesto, lo que representa un avance relevante para el desarrollo de soluciones sostenibles en sectores como el envasado, la manufactura aditiva y los productos de un solo uso con bajo impacto ambiental (ScienceDirect, 2024).

2.5 Empaques

El empaque de alimentos cumple funciones esenciales relacionadas con la protección, conservación de la calidad, extensión de la vida útil y comunicación de información relevante al consumidor. Tradicionalmente, se han utilizado plásticos derivados de combustibles fósiles debido a su bajo costo y adecuadas propiedades técnicas.(Correa, 2023).

2.5.1 Bioempaques

Según Acosta Medina, Contreras Pacheco y Pedraza Avella (2023), los bioempaques son los sistemas de envasado hechos a partir de biomateriales o materiales con origen más sostenible, que emergen como alternativas a los empaques convencionales derivados del petróleo, y que pueden cumplir las funciones propias del empaque alimentario (protección, contención, información) al mismo tiempo que responden a criterios ambientales como biodegradabilidad, compostabilidad o menor dependencia de recursos fósiles.

Graphical Abstract

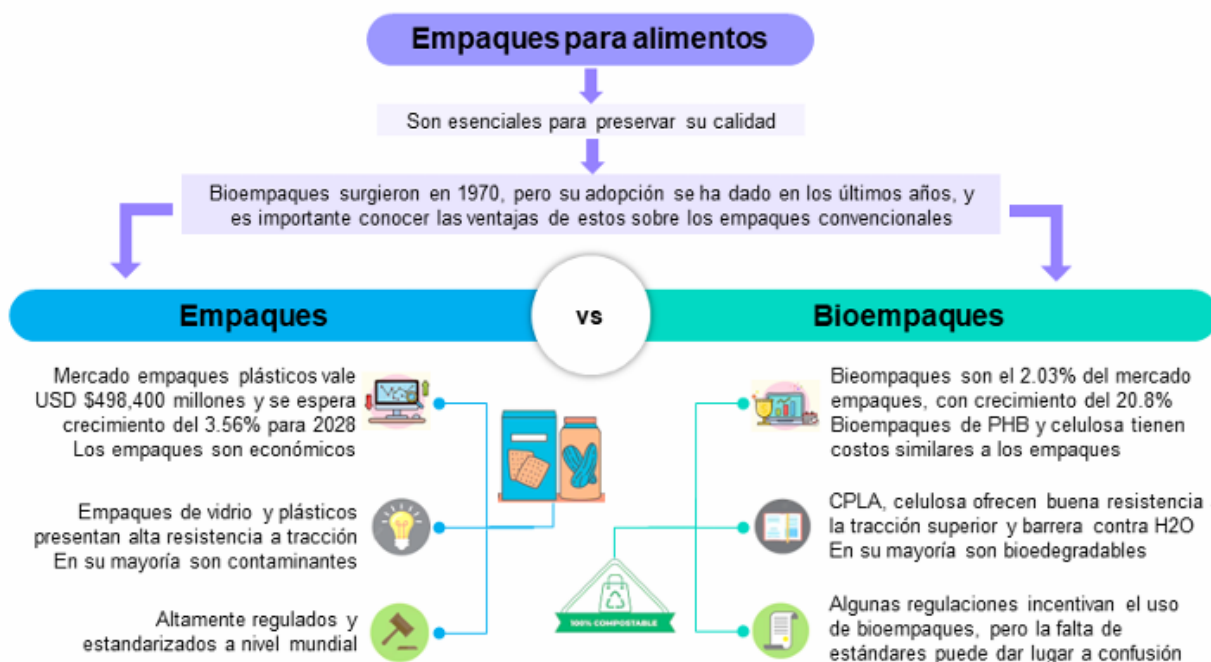




Ilustración Grafical Abstract recuperada de Ingeniería y Competitividad, 2023 vol 25(3)
e-201213066 / Sept-dic

3. OBJETIVO GENERAL

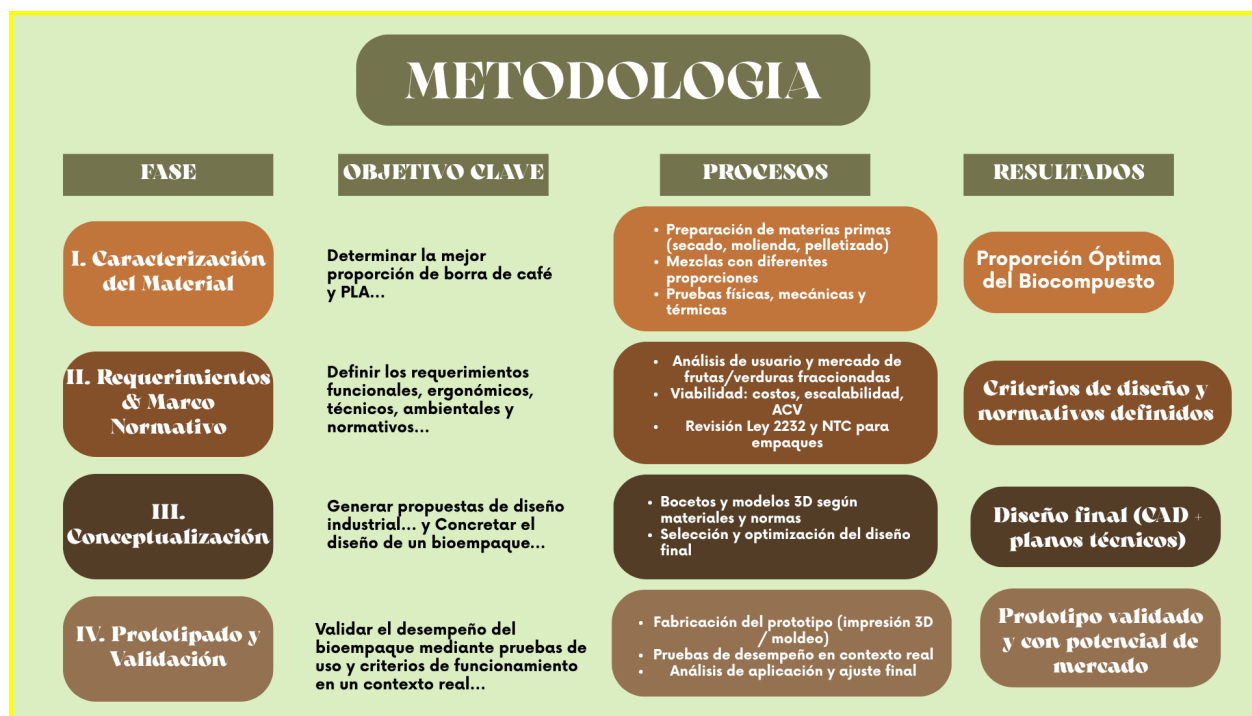
Aplicar el material biocompuesto de borra de café con matriz polimérica de ácido poliláctico (PLA) para el diseño embalajes/contenedores para venta fraccionada de frutas y hortalizas como una aplicación al uso de polímeros convencionales.

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la mejor proporción de borra de café y PLA para obtener un biocompuesto adecuado para la fabricación de envases/contenedores destinados a la venta fraccionada de frutas y hortalizas, mediante pruebas de mezclado y análisis de propiedades físicas, mecánicas y térmicas.
- Definir los requerimientos funcionales, ergonómicos, técnicos, ambientales y normativos que orienten el diseño del envase para la venta fraccionada de frutas y hortalizas, considerando criterios de sostenibilidad y viabilidad productiva (incluyendo la Ley 2232).
- Generar propuestas de diseño industrial para envases/contenedores que respondan a las necesidades del usuario y a las características del biocompuesto obtenido.
- Concretar el diseño de un bioempaque para frutas y verduras fraccionadas, alineado con las necesidades del usuario y las propiedades del material obtenido.
- Validar el desempeño del bioempaque mediante pruebas de uso y criterios de funcionamiento en un contexto real, con el fin de analizar su utilidad, funcionalidad y potencial de aplicación en el mercado.

4. METODOLOGÍA

La metodología propuesta para este proyecto se estructura en cuatro fases que abarcan desde la caracterización del material hasta la validación del producto final. En primer lugar, se determina la proporción óptima del biocompuesto a partir de borra de café y PLA mediante la preparación de muestras y la evaluación de sus propiedades físicas, mecánicas y térmicas. Posteriormente, se establecen los requisitos funcionales, ergonómicos, ambientales y normativos que orientan el diseño del bioempaque, apoyados en análisis de usuario, mercado y legislación vigente. Con estos criterios definidos, se procede a la etapa de diseño y conceptualización, donde se generan alternativas, se modelan en 3D y se selecciona la propuesta más viable. Finalmente, se fabrica un prototipo funcional y se realizan pruebas de uso en un contexto real para validar el desempeño del producto y su potencial de aplicación en el mercado.



5. ESTADO DEL ARTE

Título: Filamentos sostenibles para impresión 3D: uso de PLA reciclado y residuos de café como material de relleno.

Autor: Carlos Augusto Murillo Usuga, Santiago del Valle Tirado, David Volkmar Vélez y Luis Frey Zapata Henao.

Fuente: (Murillo Usuga et al., 2023).

Resumen:

Este estudio evaluó la viabilidad técnica y mecánica de utilizar residuos de café (RC) como relleno en filamentos de ácido poliláctico (PLA), tanto comercial como reciclado, destinados a impresión 3D. Se utilizó un diseño experimental 2^2 con variación en el tipo de PLA y la presencia o ausencia de RC (10 % en peso). Los análisis de microscopía óptica confirmaron una distribución homogénea de los residuos dentro de la matriz polimérica, mientras que el análisis FTIR evidenció una incorporación exitosa de los RC al incrementar la intensidad de bandas características asociadas a grupos funcionales presentes en el PLA y en el café. Las pruebas mecánicas mostraron que ni la incorporación de RC ni el uso de PLA reciclado afectaron de manera significativa propiedades como la resistencia a la tracción, el módulo elástico o la elongación a la ruptura.

Conclusión:

La reutilización de residuos de café como carga en la fabricación de filamentos para impresión 3D representa una opción viable y sustentable, sin detrimento significativo en las propiedades mecánicas del producto final. Estos resultados apoyan la adopción de materiales reciclados y orgánicos en procesos de manufactura aditiva, promoviendo prácticas de economía circular. El tratamiento previo de los residuos de café posibilita su integración en la matriz polimérica, mejorando la compatibilidad y estabilidad del material. De este modo, se abren nuevas oportunidades para el desarrollo de filamentos ecológicos y funcionales en aplicaciones industriales o educativas de impresión 3D.

Título: Manufactura aditiva a gran escala con residuos de café: desarrollo de compuestos poliméricos para impresión 3D de geometrías complejas sin soporte.**Autor:** Alessia Romani, Martina Paramatti, Laura Gallo y Marinella Levi.**Fuente:** (Romani et al., 2024).**Resumen:**

Este estudio evaluó el uso de compuestos poliméricos basados en ácido poliláctico (PLA), polietileno de baja densidad reciclado (rLDPE) y polietileno de alta densidad (HDPE), todos rellenos con un 10 % de residuos de café (SCGs), para procesos de manufactura aditiva de gran formato mediante extrusión de pellets (FGF). Se exploró su viabilidad térmica, reológica y mecánica para aplicaciones como mobiliario e interiores, sin necesidad de soportes en geometrías con voladizos complejos. Se empleó la técnica de *nonplanar slicing*, que permitió imprimir estructuras con curvaturas de hasta 32° y voladizos de 25°. Los compuestos PLA/SCGs y rLDPE/SCGs mostraron un buen desempeño, destacando por su adecuada viscosidad, buena adherencia entre capas y propiedades mecánicas comparables con las obtenidas por moldeo convencional.

Conclusión:

El uso de residuos de café como relleno en compuestos poliméricos para manufactura aditiva representa una solución práctica y ecológica, en especial para aplicaciones a gran escala. Este trabajo demuestra que es posible reutilizar pellets comerciales originalmente diseñados para moldeo por inyección sin necesidad de extruir filamentos, lo que reduce costos y consumo energético. La combinación de SCGs con PLA y rLDPE, ambos materiales de bajo impacto ambiental, ofrece nuevas oportunidades para fabricar elementos personalizados en diseño de interiores, mobiliario o estructuras temporales, promoviendo la economía circular y la reducción de residuos industriales. La técnica de impresión *nonplanar* amplía aún más estas posibilidades al eliminar la necesidad de estructuras de soporte en geometrías complejas.

Título:**Revalorización de residuos de café: avances en el desarrollo de empaques alimentarios ecológicos y biobasados**



Autor:

Josué D. Hernández-Varela y Dora I. Medina

Fuente:

(Hernández-Varela y Medina, 2023)

Resumen:

Este artículo me pareció clave porque muestra cómo diferentes residuos del café —como la pulpa, mucílago, cáscara, silverskin y la borra— pueden convertirse en materiales útiles para fabricar empaques biodegradables. Lo interesante es que no solo analizan las propiedades químicas de cada residuo, sino también cómo se pueden integrar a matrices como PLA, almidón, PVA o incluso polietileno, dependiendo del uso. También hacen un repaso de los métodos más usados para fabricar estos bioplásticos, como la extrusión, el moldeo por compresión o el solvent casting.

Lo que más me llamó la atención es que muestran varios ejemplos reales de aplicación en empaques alimentarios, utensilios, películas comestibles y otros productos. Muchos de estos tienen buenas propiedades mecánicas y barrera, lo que abre la puerta a soluciones funcionales y sostenibles. Sin embargo, también son honestos con las limitaciones: aún falta trabajar más la compatibilidad de materiales, los aditivos naturales y lograr procesos más escalables a nivel industrial.

Conclusión:

Este artículo refuerza la idea de que los residuos del café no son basura, sino materia prima con muchísimo potencial. Aporta datos y ejemplos que muestran que sí es posible transformar estos subproductos en materiales útiles, compostables y con valor agregado. En especial, me parece relevante para quienes queremos diseñar productos sostenibles desde una mirada más consciente y alineada con la economía circular.



Título:

Future-Oriented Biomaterials Based on Natural Polymer Resources: Characteristics, Application Innovations, and Development Trends

Autor:

Zhou, Y., Zhang, S., & Zhang, Y.

Fuente:

(Zhou et al., 2025)

Resumen:

Este artículo me pareció muy útil porque presenta una visión global sobre cómo los polímeros naturales —como celulosa, lignina, almidón, quitina y proteínas— se están convirtiendo en la base para nuevos biomateriales que buscan reemplazar materiales sintéticos convencionales. Lo interesante es que no solo explican la composición y propiedades de estos biopolímeros, sino que también muestran cómo se están aplicando en productos inteligentes, sostenibles y funcionales, desde empaques hasta medicina regenerativa y sensores.

También hablan de las tecnologías más innovadoras que se están utilizando para transformarlos, como la impresión 3D, técnicas de autoensamblaje, modificaciones químicas y materiales con respuesta a estímulos. Además, hacen énfasis en tendencias clave como la economía circular, la multifuncionalidad y la integración con sistemas electrónicos, lo cual conecta bastante con el tipo de diseño que yo quiero aplicar: uno que sea responsable, adaptable y con valor agregado desde el material.

Conclusión:

Este artículo me ayuda a entender cómo otros materiales de origen natural están siendo transformados en soluciones reales para distintos sectores. Aunque no se centra en la borra de café, me sirve mucho para ubicar mi proyecto dentro de una tendencia global que está apostando por lo biobasado, lo compostable y lo tecnológicamente viable. Además, me aporta ideas sobre cómo pensar más allá del objeto y considerar el material como parte clave de la innovación sostenible.



Título:

Reuse of Spent Coffee Grounds in Various Industries—A General Overview

Autor:

Wiktoria Sidło y Jolanta Latosińska

Fuente:

(Sidło & Latosińska, 2025)

Resumen:

Este artículo me pareció súper completo porque recopila todas las formas en que se puede reutilizar la borra de café en distintas industrias. Hablan de su uso en agricultura (como fertilizante y mejorador del suelo), en generación de energía (como biomasa y biodiésel), en la industria de materiales (bioplásticos, adsorbentes y construcción), e incluso en cosmética, alimentos funcionales y productos farmacéuticos.

Lo que me gustó es que explican muy bien qué componentes tiene la borra (como lignina, celulosa, aceites y antioxidantes) y cómo esas propiedades se aprovechan en cada sector. Además, analizan sus beneficios ambientales, económicos y funcionales, y también son realistas al hablar de los desafíos que todavía existen, como la necesidad de procesos estandarizados y la gestión eficiente del residuo a gran escala.

Conclusión:

Este artículo me ayudó a reafirmar que trabajar con borra de café no es solo una idea interesante desde el diseño, sino también una apuesta real hacia la sostenibilidad industrial. Me aporta una visión amplia del potencial de este residuo, y me da argumentos sólidos para seguir explorándolo en mi proyecto desde un enfoque circular y con impacto positivo.

6. ESTADO DE LA TÉCNICA:

Producto: Vajilla

Material: Fibra de coco

Tipo: Proyecto de investigación

Fuente: (Greenteach, 2023)

Descripción

Se trata de platos elaborados con fibras de coco, lo que permite reducir de forma notable su periodo de descomposición y minimizar el daño al entorno. A diferencia de los utensilios tradicionales, que pueden tardar entre 500 y 1.000 años en desaparecer, estos se convierten en abono en aproximadamente tres meses.

Conclusión

Este producto está compuesto íntegramente por materiales de origen natural, ofreciendo además una resistencia al calor superior a la de los plásticos comunes. Sus residuos no requieren procesos complejos para su disposición final, ya que pueden ser degradados en cualquier ambiente. No obstante, es esencial asegurar que cumplan con estándares de calidad que garanticen la inocuidad de los alimentos, evitando problemas de humedad o contaminación por microorganismos.





Producto: Ooho (bolsa comestible para líquidos)

Material Algas marinas (extracto de alginato de sodio y cloruro de calcio)

Tipo Producto comercial (startup)

Fuente (Notpla, 2023)

Análisis descriptivo

Envase flexible y comestible para líquidos (jugos, agua, bebidas deportivas), hecho a base de algas marrones y calcio. Su forma de “burbuja” encapsula el líquido y se puede consumir totalmente, evitando envases plásticos. Fue utilizado en el maratón de Londres y en cadenas de comida rápida como Just Eat. Premio Earthshot Prize.

Conclusiones

El uso de algas reduce significativamente la huella ambiental en comparación con botellas y vasos plásticos de un solo uso. Sin embargo, su fragilidad y corta vida útil limitan la aplicación masiva en distribución comercial convencional. Se destaca por su innovación, sostenibilidad y atractivo visual.



Producto: Recubrimiento comestible para frutas y hortalizas

Material Biopolímero natural comestible (base vegetal)

Tipo Producto comercial

Fuente (Bio2Coat, 2023; El País, 2025)

Análisis descriptivo

Bio2Coat desarrolló un recubrimiento comestible y biodegradable que se aplica directamente a la superficie de frutas y hortalizas como aguacates, mangos y manzanas. Su fórmula está compuesta por extractos vegetales y biopolímeros que forman una película invisible, reduciendo la pérdida de agua y retrasando el proceso de oxidación. Este recubrimiento permite prolongar la vida útil de los productos frescos sin alterar el sabor ni la textura. Actualmente, está patentado en España y se comercializa en Brasil.

Conclusiones

El recubrimiento ofrece una solución sostenible al disminuir la necesidad de envases plásticos y reducir el desperdicio alimentario, aportando valor agregado a los productos agrícolas. Aunque presenta grandes ventajas en conservación y transporte, requiere infraestructura adecuada para su aplicación a gran escala y un control estricto de la formulación para cada tipo de fruta. Se destaca su potencial para la exportación y para mercados que buscan reducir el uso de plásticos.



Producto: Leños de café (Bio-bean “coffee logs”)



Material Borra de café compactada con residuos vegetales

Tipo Producto comercial

Fuente (Bio-bean, Reino Unido) (bbc.com, beanused.com)

Análisis descriptivo

Bio-bean recolecta residuos de café de cafeterías y los procesa para crear leños compactos (en forma de salchicha) que se utilizan como combustible para parrillas y chimeneas. Estos leños arden durante más tiempo y alcanzan temperaturas más altas comparados con la madera, emitiendo un 80 % menos de CO₂ que el carbón tradicional (bbc.com).

Conclusiones

Se trata de una alternativa energética sostenible que aprovecha residuos, reduce emisiones y alarga la vida de la materia orgánica. Ideal para uso doméstico y pequeñas empresas, aunque requiere una red eficiente de recolección y procesamiento del café.



Producto: Tazas y utensilios de Kaffeeform

Material Composite de borra de café + resinas vegetales

Tipo Producto comercial

Fuente (Kaffeeform, Berlín)

Análisis descriptivo

Kaffeeform transforma granos usados en un material resistente al agua y al calor, moldeable en tazas, platos y complementos de cocina. Los productos son aptos para lavado, biodegradables y cuentan con un sistema de reciclaje propio para reprocesar los objetos en nuevos utensilios (materialdistrict.com).

Conclusiones

Útiles, sostenibles y elegantes, estos productos reducen el uso de plástico. Es necesario potenciar su logística de retorno y reciclaje para cerrar el ciclo circular.



7. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO:

Categoría	Requerimiento	Tipo	Justificación (relación con objetivos/metodología)
Funcionales	El envase debe contener frutas y hortalizas fraccionadas sin derrames ni pérdidas	O	Objetivo de diseño y validación de uso
	Debe proteger los alimentos de contaminación externa	O	Inocuidad alimentaria + pruebas de uso
	Debe permitir ventilación adecuada para evitar humedad y deterioro	O	Fisiología poscosecha / calidad del producto
	Debe permitir apilamiento para transporte y venta	D	Viabilidad comercial y logística
Ergonómicos / Usuario	Debe ser fácil de manipular por el consumidor	O	Diseño centrado en usuario
	Debe permitir apertura/cierre simple	D	Experiencia de uso
	Tamaño adecuado para porciones fraccionadas	O	Necesidad de mercado y análisis de usuario
Técnicos / Material	Usar biocompuesto con proporción óptima borra + PLA	O	Objetivo específico 1
	Debe soportar peso y humedad de frutas/hortalizas	O	Análisis mecánicos y térmicos
	Compatible con técnicas de fabricación del prototipo	O	Metodología: fabricación y pruebas



	Material debe ser termoestable y resistente	O	Pruebas físicas y térmicas
Ambientales	Biodegradable y sustituye polímeros convencionales	O	Objetivo general
	Elaborado con residuos orgánicos (borra de café)	O	Economía circular / sostenibilidad
	Bajo impacto en ciclo de vida	D	Criterios ambientales
Normativos	Cumplir Ley 2232 (plásticos de un solo uso en Colombia)	O	Marco normativo nacional
	Cumplir normativas de contacto alimentario	O	Seguridad alimentaria
	Considerar etiquetado ambiental y reciclaje/compostaje	D	Alineación con marco sostenible
Productivos	Viable para prototipado y producción a pequeña escala	O	Metodología: prototipo funcional
	Compatible con moldeo/impresión 3D	D	Proceso exploratorio de fabricación
Mercado	Ajustado a comercios que venden frutas/hortalizas	O	Contexto real de validación
	Costo accesible para distribución a pequeños comercios	D	Viabilidad comercial

8. PROCESO DE DISEÑO:

8.1 ENFOQUE BIONICO

8.1.1 Descripción referencial

La cereza de café es el fruto del cafeto y constituye la materia prima esencial de toda la cadena productiva cafetera. Su estructura está compuesta por varias capas que rodean una o dos semillas —lo que finalmente conocemos como el grano de café—, y cada una de ellas cumple funciones específicas en las etapas de cosecha, beneficio y transformación del café (Perfect Daily Grind, 2019; Tueste Café, 2023).

Desde el exterior hacia el interior, la cereza de café presenta la siguiente composición:

- **Cáscara o piel externa (exocarpio/epicarpio):** Capa superficial del fruto. Durante su desarrollo es verde, y en la madurez adquiere tonalidades rojas, amarillas, naranjas o rosadas según la variedad y grado de maduración (Perfect Daily Grind, 2019).
- **Pulpa y mucílago (mesocarpio):** Bajo la piel se encuentra la pulpa, y en contacto con la semilla se halla el mucílago, una capa viscosa rica en azúcares y pectinas que participa en procesos como la fermentación del café (Perfect Daily Grind, 2019).
- **Pergamino (endocarpio):** Capa interna dura que protege la semilla antes del proceso de beneficio y secado (Tueste Café, 2023).
- **Película plateada (perisperma):** Membrana muy fina y adherida al grano que persiste incluso tras el proceso de tostión, visible como residuos plateados o perlados sobre el grano de café (Mundo Cafeto, 2022).
- **Grano de café (semilla: endospermo + embrión):** Ubicado en el centro del fruto, consta del endospermo —donde se encuentran los compuestos responsables del sabor y aroma del café— y el embrión, encargado de la germinación (Se Habla Café, 2021).

Estructura del fruto del café

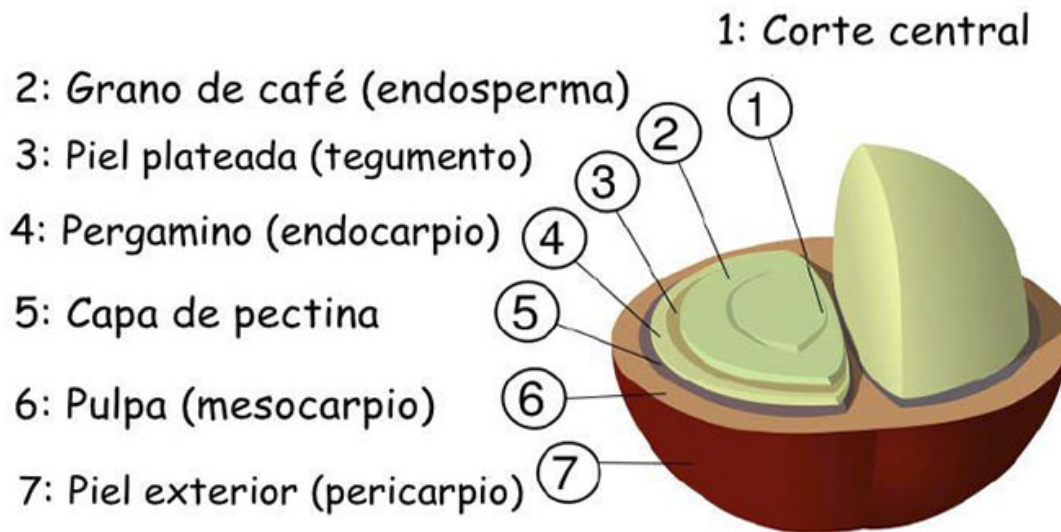


Imagen recuperada de <https://revista.coffeemedia.com.co/2017/02/26/estructura-del-fruto-del-cafe/>

8.2 ANALOGÍAS

Como se aprecia en el siguiente cuadro, establecer esta interrelación entre las partes del grano de café y sus equivalentes funcionales dentro del empaque hortofrutícola permite identificar y transferir propiedades clave del sistema biológico al sistema diseñado. Este ejercicio posibilita asociar no solo funciones, sino también cualidades relacionadas con la forma, estructura, jerarquía, protección y eficiencia natural que posee el grano. A partir de ello, se abren oportunidades de diseño orientadas a soluciones sostenibles, donde cada componente del empaque adquiere un propósito específico inspirado en los mecanismos naturales del grano de café y su capacidad de resguardar, preservar y mantener su contenido.

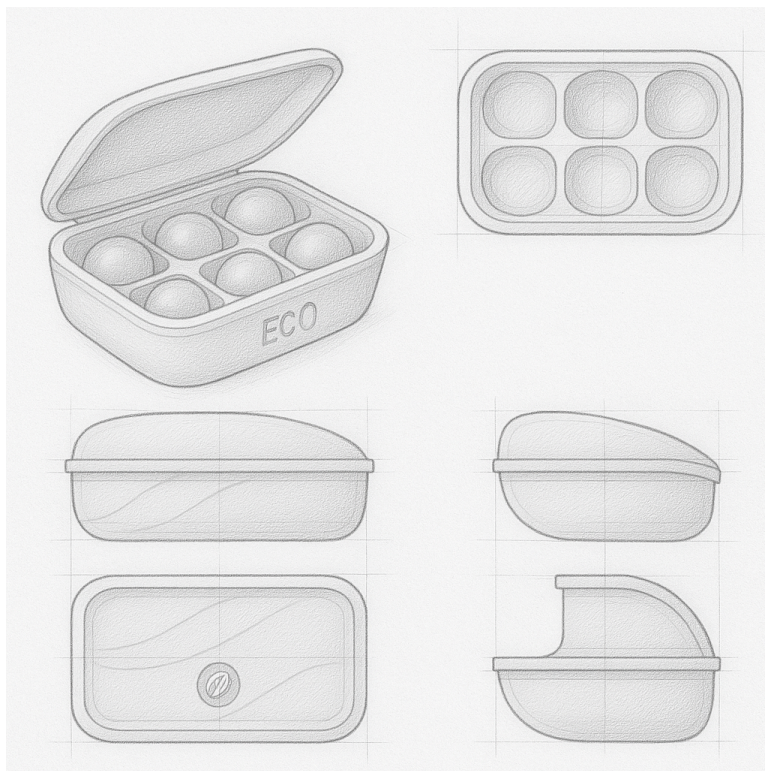
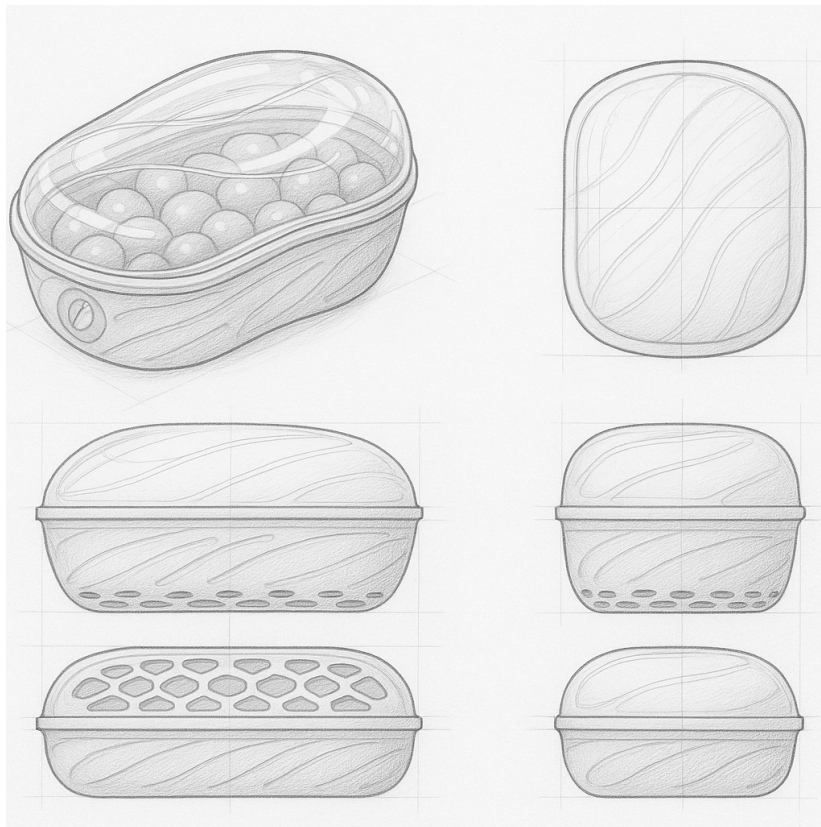


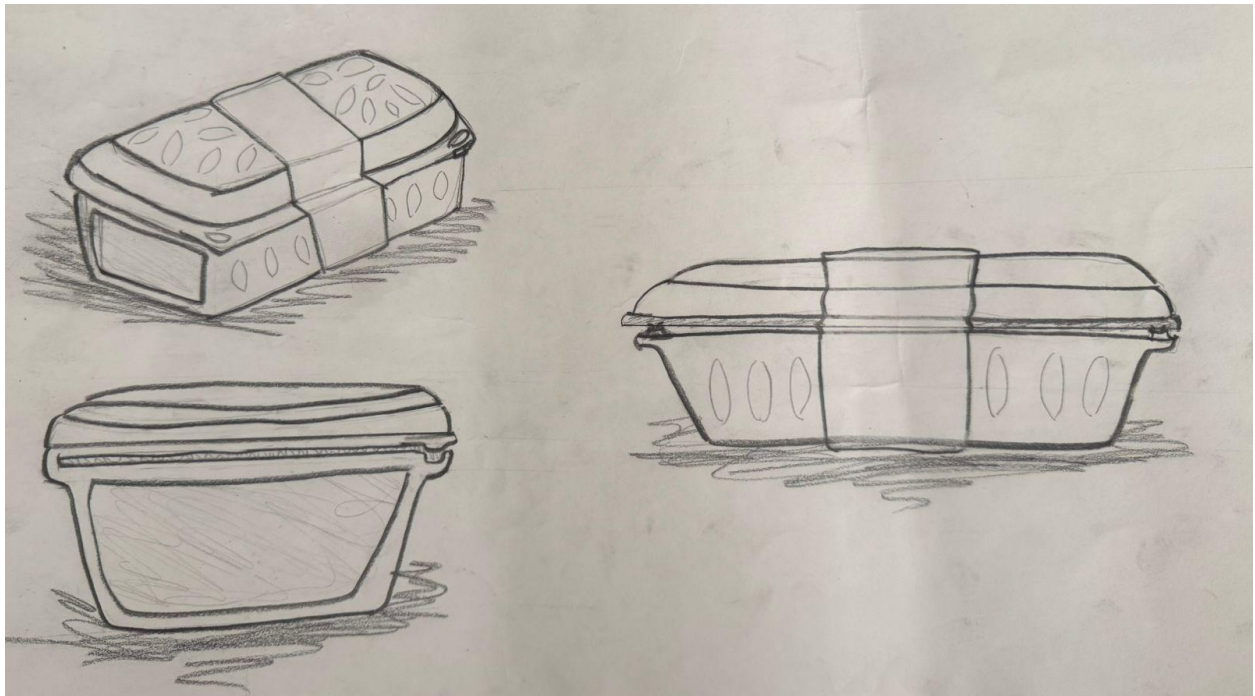
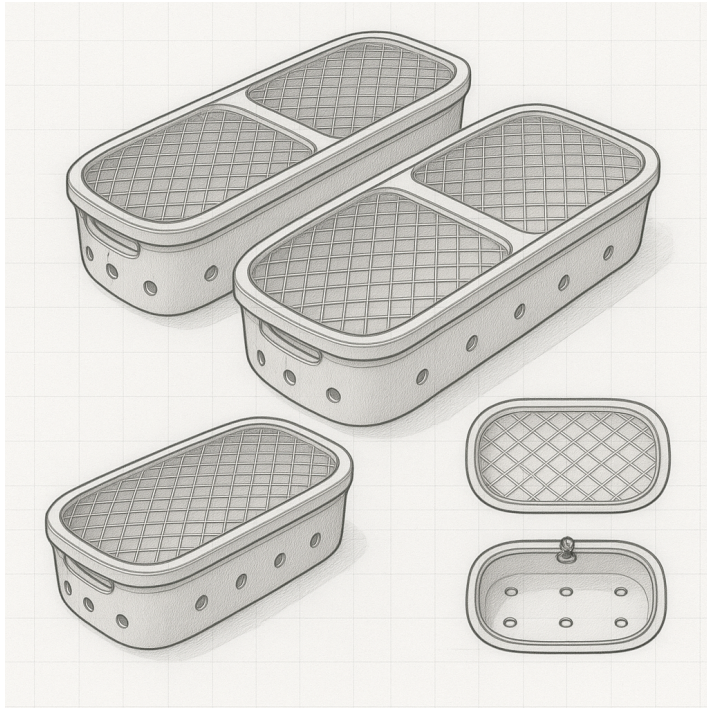
Parte del grano de café	Función natural	Analogía para empaque hortofrutícola
Cáscara / Exocarpio	Protección externa frente a impactos y contaminación	Capa externa resistente del empaque que protege el producto
Pulpa / Mesocarpio	Amortiguación y retención de humedad	Capa amortiguadora interna que evita golpes y mantiene fresca
Mucílago	Conserva humedad y protege de microorganismos	Sistema que regula humedad para prolongar vida útil
Pergamino / Endocarpio	Barrera rígida protectora	Estructura firme que mantiene la integridad del empaque
Cutícula	Capa cerosa que evita pérdida de agua y entrada de patógenos	Recubrimiento impermeable y antibacteriano del empaque
Hendidura del grano	Ayuda en ventilación y secado natural	Aperturas o microventilación para controlar aire interno
Almendra / Endospermo	Núcleo nutritivo y protegido	Contenedor principal del alimento (fruta/verdura)
Forma ovalada del grano	Eficiencia en almacenamiento y distribución de fuerzas	Forma orgánica que facilita apilado y distribución uniforme



8.3 EXPLORACIÓN DE ALTERNATIVAS:

Las siguientes propuestas de diseño surgen a partir del análisis morfológico y funcional del grano de café como sistema natural altamente eficiente en protección, conservación y contención. Inspirado en los principios de biomimetismo y valorización de subproductos agroindustriales, este ejercicio busca traducir las características estructurales del grano —como su capacidad aislante, su organización por capas y su resistencia física— en soluciones aplicadas al desarrollo de empaques hortofrutícolas sostenibles. De esta manera, se establecen paralelos entre la naturaleza y el diseño industrial para generar alternativas que respondan a criterios ambientales, funcionales y estéticos, promoviendo el aprovechamiento de residuos como la borra de café dentro de un modelo de economía circular. A continuación, se presentan las propuestas conceptuales, donde cada una explora cómo las propiedades biológicas del grano pueden inspirar nuevas configuraciones materiales, volumétricas y estructurales para el empaque.





8.4 PROTOTIPO FÍSICO:

En este prototipo de baja fidelidad se desarrolló una maqueta exploratoria que se aproxima a la propuesta final del empaque hortofrutícola. El objetivo de este ejercicio fue materializar de manera preliminar la forma, volumetría y principio de contención inspirados en la morfología del grano de café, evaluando su capacidad para proteger y agrupar los productos agrícolas.

El diseño presenta dimensiones aproximadas de **200 mm de largo**, con una altura de **60 mm para el cuerpo principal** y **40 mm para la tapa**, manteniendo proporciones armónicas que buscan reflejar la curvatura orgánica y el carácter compacto del grano. La tapa, de longitud equivalente al contenedor (**200 mm**), funciona como una envolvente secundaria y ligera, simulando las capas protectoras naturales del grano de café.

Además, se implementó una malla superior como sistema de contención y ventilación, permitiendo visibilidad del producto y facilitando el flujo de aire para mantener la frescura de los alimentos. Este modelo permite validar la relación entre ergonomía, estabilidad del contenido y coherencia conceptual con el referente biológico, sirviendo como guía para futuras iteraciones de mayor precisión y uso de materiales biocompuestos derivados de la borra de café.





8.5 MODELADO DE LA PROPUESTA:

Con el objetivo de aproximarse a la morfología final del empaque, se realizó un modelado digital en **SolidWorks**, permitiendo definir con mayor precisión las proporciones, curvaturas, espesores y detalles estructurales inspirados en la forma del grano de café. Este modelo CAD facilita la visualización tridimensional del producto, la validación de su geometría y su comportamiento volumétrico, así como la previsión de procesos de fabricación y ensamblaje.

El modelado constituye una etapa clave dentro del proceso de diseño, ya que posibilita ajustar la ergonomía, optimizar el aprovechamiento del material y prever las condiciones necesarias para la manufactura posterior con biocompuestos desarrollados a partir de borra de café.



BIBLIOGRAFÍA

- Alguero, A. (2024). *El impacto económico de la industria cafetera en Colombia*. Editorial Ciencia y Economía.
- Alguero, J. (2024). *El consumo de café en Colombia: Crecimiento y tendencias*. *Revista de Economía y Negocios*, 35(2), 45–60.
- Alguero, M. O. (2024, junio 27). *El consumo de café colombiano está en su mejor momento, ¿cuántas tazas se toma al día?* *El Colombiano*. ContentEngine LLC. <https://bd.univalle.edu.co/central/newspapers/el-consumo-de-café-colombiano-está-en-su-mejor/docview/3073494923/sem-2?accountid=174776>
- Alshalif, A. F., Azri, Y. M., Irwan, J. M., Muta'fi, A., Alshaeer, H. A. Y., & Hakim, S. J. S. (2024). *The use of coffee waste in bio-foamed concrete brick (B-FCB) to reduce the penetration of carbon dioxide (CO₂) into concrete*. *Journal of Cleaner Production*, 435, 140229. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140229>
- Bhatia, P., Kumar, P., & Sharma, R. (2020). *Properties and applications of polylactic acid (PLA): A sustainable polymer*. *Journal of Polymer Science*, 58(1), 105–119.
- Cánovas Martín, C. (2002). *Educación ambiental y cambio de valores en la sociedad*. *Observatorio Medioambiental*, 5, 357–364. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=269012>
- Castro, R., Gómez, P., & Torres, F. (2019). *Valoración y aprovechamiento de residuos agroindustriales: El caso de la borra de café*. *Revista de Innovación y Tecnología*, 15(3), 120–135.
- Congreso de Colombia. (2022). *Ley 2232 de 2022: Eliminación gradual de plásticos de un solo uso*. Diario Oficial No. 52.123.
- DANE. (2023). *Café: Estadísticas y análisis de la producción*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. <https://www.dane.gov.co/index.php/comunicados-y-boletines/estadisticas-sociales/mercado-laboral>
- Dordevic, D., Gablo, N., Zelenkova, L., Dordevic, S., & Tremlova, B. (2024). *Utilization of spent coffee grounds as a food by-product to produce edible films based on*

κ-carrageenan with biodegradable and active properties. Foods, 13(1833).
<https://doi.org/10.3390/foods13121833>

- Ecoticias.com, El periódico verde. (2012). *Las 5Rs: Estrategias clave para la sostenibilidad*. https://www.ecoticias.com/residuos-reciclaje/61774_4-erres-del-reciclaje
- Econatur. (s.f.). *El café de Colombia: Tradición local y sabor global*. <https://econatur.net/cultivos-paises/el-cafe-de-colombia-tradicion-local-y-sabor-global/>
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC). (2023). *Informe anual de producción y exportación de café*. <https://federaciondefcafeteros.org/app/uploads/2023/11/IG-92-CNC-DIGITAL.pdf>
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC). (2024). *Análisis de producción y consumo de café en Colombia: Año cafetero 2023–2024*. <https://caldas.federaciondefcafeteros.org/listado-noticias/al-finalizar-el-ano-cafetero-2023-2024-colombia-se-consolida-como-el-2-productor-de-cafe-arabica-en-el-mundo/>
- Fundación Ellen MacArthur. (2015). *¿Qué es la Economía Circular?* Foro de economía Circular. <https://foroeconomiacircular.com/la-economia-circular/>
- Hernández, J., García, L., & Pérez, M. (2021). *Impacto ambiental de los residuos agrícolas: Casos de valorización y reutilización de la borra de café*. *Revista de Ciencias Ambientales*, 28(4), 450–465.
- Kourmentza, C., Economou, Ch.N., Tsafrakidou, P., & Kornaros, M. (2018). *Spent coffee grounds make much more than waste: Exploring recent advances and future exploitation strategies for the valorization of an emerging food waste stream*. *Journal of Cleaner Production*, 172, 980–992. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.088>
- Lara Gonzáles, J. D. (2008). *Reducir, Reutilizar, Reciclar. Elementos, ciencia y cultura*, 15(069), 45–48. <https://www.redalyc.org/pdf/294/29406907.pdf>
- Makrygiannis, I., Karalis, K., & Tzampoglou, P. (2025). *Enhancing the Thermal Insulation Properties of Clay Materials Using Coffee Grounds and Expanded Perlite Waste*. *Ceramics*, 8(1), 30. <https://doi.org/10.3390/ceramics8010030>
- Manjón, N. (2020, marzo 2). *7R: Rediseñar, Reducir, Reutilizar, Reparar, Renovar, Recuperar y Reciclar. Ecología Verde*.



<https://www.ecologiaverde.com/7redisenar-reducir-reutilizar-reparar-renovar-recuperar-y-reciclar-2066.html>

- Murillo Usuga, C. A., del Valle Tirado, S., Vélez, D. V., & Zapata Henao, L. F. (2023). *Fabricación de filamentos de impresión 3D con ácido poliláctico comercial y reciclado rellenos con residuos de café*. *Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia*, (110), 106–115. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20230651>
- National Geographic. (2025, marzo). *¿Cuál es el origen del café?* *National Geographic en Español*. <https://www.nationalgeographicla.com/historia/2025/03/cual-es-el-origen-del-cafe>
- Palacios, M. (2009). *El café en Colombia, 1850–1970: una historia económica, social y política* (4.^a ed.). El Colegio de México. <https://muse.jhu.edu/book/74823>
- Qureshi, A. (2025). *Behavioral barriers to sustainable packaging adoption: A consumer perspective*. *International Journal of Environmental Psychology*, 30(1), 112–130.
- Qureshi, W. (2025). *Major brands launch returnable coffee cup initiative in UK trial*. *Packaging News*, 16. <https://bd.univalle.edu.co/trade-journals/major-brands-launch-returnable-coffee-cup/docview/3167206216/se-2>
- Romani, A., Paramatti, M., Gallo, L., & Levi, M. (2024). *Large-format material extrusion additive manufacturing of PLA, LDPE, and HDPE compound feedstock with spent coffee grounds*. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 134, 1845–1861. <https://doi.org/10.1007/s00170-024-14214-2>
- Satheesh Kumar, K. V., Vikram, S., Vigneswaran, S. J., & Sudhanhari, C. T. A. (2021). *Manufacturing methods of healthy and edible cups—An integrative review*. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1055(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1055/1/012017>
- Schwager, P., & Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI). (2019). *Economía circular: Oportunidades y desafíos para la sostenibilidad*. https://www.unido.org/sites/default/files/files/2019-08/20190610_Econom%C3%ADa%20Circular_Evento%20MINAM_Schwager.pdf
-

- Superintendencia de Industria y Comercio (SIC). (n.d.). *Denominación de origen en Colombia: Protección y promoción*. https://www.sic.gov.co/marcas/denominaciones-de-origen#quicktabsantes_de_solicitar_denominacione1
 - Tsuji, H. (2022). *Biodegradability of PLA-based materials and their environmental impact*. *Journal of Green Materials*, 45(7), 302–312.
 - Hernández-Varela, J. D., & Medina, D. I. (2023). *Revalorization of coffee residues: Advances in the development of eco-friendly biobased potential food packaging*. *Polymers*, 15(13), 2823. <https://doi.org/10.3390/polym15132823>
 - Zhou, Y., Zhang, S., & Zhang, Y. (2025). *Future-oriented biomaterials based on natural polymer resources: Characteristics, application innovations, and development trends*. *Carbohydrate Polymers*, 320, 121134. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2024.121134>
 - Anatomía del café: ¿cuáles son sus partes? (2024, 17 de diciembre). *Tueste Café*. Recuperado de <https://tuestecafe.mx/blogs/blog-del-cafe/anatomia-del-cereza-cafe-cuales-son-sus-partes>
 - Sidło, W., & Latosińska, J. (2025). *Reuse of spent coffee grounds in various industries—A general overview*. *Processes*, 13(3), 727. <https://doi.org/10.3390/pr13030727>
- Correa, L. E., Sierra, M. M., & Ocampo, D. (2023). *Análisis de empaques y bioempaques para alimentos: comparación de propiedades, mercado y normatividad*. *INCO*, 25(3), e21213066. <https://doi.org/10.25100/inco.v25i3.13066>
- Acosta Medina, J. K., Contreras Pacheco, O. E., & Pedraza Avella, A. C. (2023). *Empaques vs Bioempaques para alimentos: Una comparación a nivel técnica, comercial y normativa*. *Ingeniería y Competitividad*, 25(3), e-21213066. <https://doi.org/10.25100/iyv.v25i3.13066>
- Real Academia Española. (2020). *Preservar*. Diccionario de la lengua española (23.^a ed.). <https://dle.rae.es/preservar>



Real Academia Española. (2020). *Conservar*. Diccionario de la lengua española (23.^a ed.). <https://dle.rae.es/conservar>

Norma Técnica Colombiana NTC ISO 22000:2005 – Sistemas de gestión de la inocuidad de los alimentos: Requisitos para cualquier organización en la cadena alimentaria. <https://agroindustriaalimentariaandes.wordpress.com/wp-content/uploads/2018/03/norma-tecnica-colombiana-iso-220002.pdf>

Cenicafé. (2020). *Recolección y caracterización de la fruta de café*. Federación Nacional de Cafeteros. https://www.conatradec.net/gallery/Recolección-Characterizaci%C3%B3n%20de%20la%20Fruta_RSoto.pdf

Perfect Daily Grind. (2019, marzo 6). *Anatomía de la cereza de café: ¿qué es un grano de café?* <https://perfectdailygrind.com/es/2019/03/06/anatomia-de-la-cereza-de-cafe-que-es-un-grano-de-cafe/>

Se Habla Café. (2021). *Anatomía de la fruta y semilla del café*. <https://sehablacafe.com/hablemos/anatomia-de-la-fruta-y-semilla-del-cafe/>