



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**

**ESTRATEGIAS DE VALORIZACIÓN PARA LA
CÁSCARA DE LA MAZORCA DE CACAO COMO NUEVO
MODELO DE DESARROLLO SOSTENIBLE**

**PRESENTADA POR
JESÚS ANTHONY GUTIÉRREZ CHÁVEZ**

**ASESOR
FERNANDO RAMOS ESCUDERO**

**TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO DE INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**

LIMA – PERÚ

2021



CC BY-NC

Reconocimiento – No comercial

El autor permite transformar (traducir, adaptar o compilar) a partir de esta obra con fines no comerciales, y aunque en las nuevas creaciones deban reconocerse la autoría y no puedan ser utilizadas de manera comercial, no tienen que estar bajo una licencia con los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



USMP
UNIVERSIDAD DE
SAN MARTIN DE PORRES

**FACULTAD DE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**

**ESTRATEGIAS DE VALORIZACIÓN PARA LA CÁSCARA DE
LA MAZORCA DE CACAO COMO NUEVO MODELO DE
DESARROLLO SOSTENIBLE**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO DE INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**

PRESENTADO POR

GUTIÉRREZ CHÁVEZ, JESÚS ANTHONY

ASESOR

DR. FERNANDO RAMOS ESCUDERO

LIMA – PERÚ

2021

Esta tesis está dedicada a Dios, el que en todo momento está conmigo, ayudándome a aprender de mis errores y a no cometértelos otra vez. A mis padres, por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad y haberme dirigido por el sendero correcto.

Agradezco a mi director de tesis, Dr. Fernando Ramos Escudero, por sus consejos, paciencia, ideas y por el tiempo brindado, los que facilitaron el desarrollo del presente trabajo de investigación.

ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN	VIII
ABSTRACT	X
INTRODUCCIÓN	XI
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1 Situación problemática	1
1.2 Definición del problema	2
1.3 Formulación del problema	2
1.4 Objetivos	3
1.5 Viabilidad de la investigación	3
1.6 Alcance y limitaciones	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes de la investigación	6
2.2 Bases teóricas	8
2.3 Definición de términos básicos	12
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	18

3.1 Método de investigación	18
3.2 Tratamiento de la información	18
3.3 Diseño metodológico	19
3.4 Matriz de consistencia	18
CAPÍTULO IV. RESULTADOS	19
4.1 Producción nacional	19
4.2 Composición química	23
4.3 Beneficios para salud	25
4.4 Mercado global	27
4.5 Estrategias de valorización	29
4.6 Viabilidad	42
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN	50
CONCLUSIONES	54
RECOMENDACIONES	56
FUENTES DE INFORMACIÓN	576

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Fruto y biomasa residual del cacao	7
Figura 2. Procesado y generación de la biomasa residual del cacao	8
Figura 3. Diseño metodológico	17
Figura 4. Comportamiento de la producción nacional de cacao	21
Figura 5. Balance de masa del fruto de cacao	22
Figura 6. Categorías industriales para su implementación	41
Figura 7. Árbol Jerárquico	44
Figura 8. Matriz3x3 - Ponderación de criterios	45
Figura 9. Matriz 3x3 – En función del criterio técnico. CR: 1,36%	45
Figura 10. Matriz 3x3 – En función del criterio económico. CR: 0,15%	45
Figura 11. Matriz 3x3 – En función del criterio social-ambiental CR: 0,19%	46

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación de la biomasa residual a partir de su origen	10
Tabla 2. Clasificación de la biomasa residual a partir de su composición	11
Tabla 3. Matriz de consistencia	18
Tabla 4. Producción regional de cacao (En toneladas)	20
Tabla 5. Generación de cáscara de la mazorca (En toneladas)	22
Tabla 6. Potenciales efectos para la salud de la cáscara de la mazorca	27
Tabla 7. Escala fundamental de comparaciones pareadas	44

RESUMEN

La presente investigación propuso como objetivo examinar el estado de la información alineado a las estrategias de valorización para la cáscara de la mazorca de cacao en el marco de un nuevo modelo de desarrollo sostenible. Por su tipo, la investigación fue aplicada con enfoque cualitativo; siendo la revisión de la literatura la herramienta imprescindible para su desarrollo.

El estudio empezó con una revisión de la literatura científica de los aspectos fundamentales de la cáscara de la mazorca de cacao, tales como: producción, composición química, efectos beneficiosos para la salud y mercado global para sus principales componentes químicos; luego, en base a esta información se documentaron los resultados más relevantes que permitieron otorgar referencias sobre el valor tecnológico y comercial de la cáscara de la mazorca de cacao. Posteriormente, teniendo como base la información documentada se procedió a realizar una revisión y clasificación de las principales estrategias de valorización existentes que permitan otorgar un valor agregado a la cáscara de la mazorca.

Entre los hallazgos más relevantes destacó el desarrollo de alimentos potenciados con fibra dietética obtenida a partir de la cáscara de la mazorca; se corroboró que el procesamiento de la cáscara de la mazorca de cacao puede llegar a convertirse en materia prima para la industria química, bioenergía e industria alimentaria. Estos hallazgos a la fecha se evidencian exclusivamente a escala de laboratorio, siendo necesaria una mayor divulgación no solo de las distintas estrategias existentes, sino de un nuevo formato de desarrollo sostenible para la industria del cacao.

Palabras clave: fibra dietética, cáscara de la mazorca, estrategias de valorización, composición química, desarrollo sostenible.

ABSTRACT

The present investigation proposed as an objective to examine the state of the information aligned to the valorization strategies for cocoa pod husk within the framework of a new model of sustainable development. Due to its type, the research was applied with a qualitative approach; being the literature review the essential tool for its development.

The study began with scientific literature review on the fundamental aspects of cocoa pod husk, such as: production, chemical composition, beneficial effects on health and global market for its main chemical components. Then, based on this information, the most relevant results were documented, which allowed references to be made on the technological and commercial value of cocoa pod husk. Subsequently, based on the documented information, a review and classification of the main existing valorization strategies was carried out that allow adding value to cocoa pod husk.

Among the most relevant findings was the development of foods enhanced with dietary fiber obtained from cocoa pod husk; it was confirmed the cocoa pod husk processing can become raw material for the chemical industry, bioenergy, food industry, among others. To date, these findings are only evidenced at a laboratory scale, being necessary more disclosure not only of the different existing strategies, but also of a new format of sustainable development for the cocoa industry.

Keywords: dietary fiber, cocoa pod husk, valorization strategies, chemical composition, sustainable development.

INTRODUCCIÓN

Según “La Organización Mundial del Cacao”, la labranza y demanda de cacao (*Theobroma cacao L.*) para fines nutritivos y curativos se registra desde hace más de 5300 años atrás, habiéndose registrado sus primeras aplicaciones en las culturas inca, maya y azteca. Hoy en día, el cacao tiene un uso muy extendido en la industria alimentaria, especialmente en la fabricación del chocolate, pero también de numerosos productos dentro y fuera de la industria de alimentos, convirtiéndose en un producto muy apreciado a nivel mundial (Vásquez *et al.*, 2019).

El fruto del cacao (mazorca) es altamente demandado por la industria y su procesado tiene como principal objetivo la producción de las habas de cacao, materia prima esencial para la fabricación de sus principales subproductos. Sin embargo, durante el procesado para obtener las habas de cacao se generan por cada tonelada de producto alrededor de 10-15 Tn de residuos orgánicos, constituido básicamente por la cáscara de la mazorca (Acosta *et al.*, 2018).

En consecuencia, la preocupación por valorizar la cáscara de la mazorca acumulada está fomentando el desarrollo de nuevas investigaciones orientadas al planteamiento de alternativas prácticas, sostenibles e innovadoras que permitan su recuperación, claros ejemplos de estas vías son la extracción de sus componentes químicos y bioconversión. Adicionalmente, los retos por monitorear más de sus potenciales características están incrementando las expectativas por parte de los diversos miembros que participan a lo largo de la cadena de valor del cacao, los cuales deben ser atendidos de manera objetiva para su adecuada planificación.

Por consiguiente, la ejecución de nuevas prácticas sostenibles durante la producción del cacao permitirá garantizar un sistema productivo responsable, que alineado a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) marcados en la Agenda 2030 contribuirá a la transformación de los procesos, productos y servicios agroalimentarios. Aumentando la eficiencia en el sistema productivo agrícola y reduciendo los riesgos para los humanos y el medio ambiente.

En este sentido, la presente investigación tuvo como propósito examinar el estado de la información alineado a las estrategias de valorización para la cáscara de la mazorca de cacao como nuevo modelo de desarrollo sostenible. Integrando los componentes tecnológicos, económicos, medioambientales y sociales, que habitualmente se manejan de modo independiente, buscando sensibilizar tanto a los productores como a las industrias sobre la diversidad de alternativas existentes para el aprovechamiento de la cáscara de la mazorca. En concreto, en el presente estudio se propusieron estrategias de valorización a partir de su composición química, niveles de procesamiento; así como su aplicación en las distintas categorías industriales, buscando fortalecer las bases para su implementación a nivel industrial en el marco de la sostenibilidad.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Situación problemática

A lo largo de la cadena de valor del cacao se realizan una serie de operaciones que tienen como objetivo la producción y transformación de las habas de cacao, principal materia prima en la industria de los chocolates y otros derivados. En paralelo, se tiene identificado que durante su procesamiento se generan una serie de residuos que integran la biomasa residual.

La cáscara de la mazorca de cacao es el primer residuo generado y constituye la fracción más voluminosa de la biomasa residual. La falta de tratamientos para su adecuada gestión está causando graves problemas tanto a nivel económico, social y medioambiental (Gutiérrez, 2020).

Aunque a la fecha se han desarrollado múltiples esfuerzos dirigidos a incentivar el aprovechamiento de la cáscara de la mazorca, la falta de una fuerte estructura técnica lo pone en desventaja frente al vertido en las tierras como desperdicio alimentario.

En este contexto, diversas investigaciones demuestran que la cáscara de la mazorca posee compuestos orgánicos con potenciales características tecnológicas, que pueden ser aprovechadas en la fabricación de nuevos productos. Además, su disposición y bajo costo de adquisición le atribuyen características comerciales relevantes a considerar.

En efecto, la aplicación de estrategias para la valorización de la cáscara de la mazorca en la industria del cacao, es una ruta alternativa que puede mejorar determinados indicadores socioeconómicos y ambientales. Así como, dinamizar el desarrollo de numerosos productos con valor agregado en la industria de alimentos y otros sectores industriales.

1.2 Definición del problema

Desde esta perspectiva comentada en la sección anterior, con la siguiente pregunta se dará paso a la formulación del problema: ¿Es posible obtener un nuevo modelo de desarrollo sostenible a partir de innovadoras estrategias de valorización para la cáscara de la mazorca de cacao?

1.3 Formulación del problema

Es inevitable que el procesamiento del cacao constantemente genere grandes volúmenes de residuos. La cáscara de la mazorca representa el mayor volumen de la biomasa residual y actualmente la industria del cacao está orientando diversas investigaciones que permitan su valorización.

No obstante, investigaciones recientes destacaron que la cáscara de la mazorca posee una variedad de compuestos orgánicos tales como fibra dietética, antioxidantes y minerales (Tran, 2021; Grob, Ott, Schnell & Windhab, 2021) que podrían ser puestos en valor. Adicionalmente, la investigación de Mariatti, Gunjević, Boffa & Cravotto (2021) reportó que posee capacidad antioxidante, antiinflamatoria, antidiabética, anticancerígena, entre otras.

En concreto, su gestión no está alineado a los ODS, la bioeconomía y estrategias ambientales preventivas “Producción Más Limpia” (PML), provocando graves problemas medioambientales y significativas pérdidas a nivel tecnológico y comercial (Vásquez et al., 2019).

Por lo tanto, siguiendo con la filosofía de los ODS, la bioeconomía y de la PML, y en armonía con los objetivos del presente trabajo de investigación. A continuación, se recoge de manera estructurada toda la información relativa a innovadoras estrategias de valorización para la cáscara de la mazorca de cacao, siempre potenciando la sostenibilidad del proceso.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Examinar el estado de la información alineado a las estrategias de valorización para la cáscara de la mazorca de cacao como nuevo modelo de desarrollo sostenible.

1.4.2 Objetivos Específicos

- A. Evaluar el impacto de la producción, composición química, beneficios para la salud y mercado global de la cáscara de la mazorca de cacao en las bases de un nuevo modelo de desarrollo sostenible.
- B. Establecer estrategias de valorización para la cáscara de la mazorca de cacao en los distintos niveles y categorías industriales.
- C. Estudiar la viabilidad de las estrategias de valorización más convenientes para la cáscara de la mazorca de cacao a nivel nacional en el marco de la sostenibilidad.

1.5 Viabilidad de la investigación

1.5.1 Viabilidad técnica

Se contó con amplios conocimientos de tecnologías y procedimientos que aseguraron el desarrollo de los objetivos y cumplimiento de los resultados previstos. El acceso a bases de datos científicas de prestigio internacional y así como el apoyo de profesionales

acreditados, otorgó puntualmente la veracidad y constancia para llevar a cabo la investigación.

1.5.2 Viabilidad económica

La autofinanciación por parte del mismo investigador fue fundamental para costear los requerimientos e inconvenientes que resultaron durante el desarrollo de la investigación.

1.5.3 Viabilidad social y ambiental

Se manifestó una primera aproximación de como una gestión eficiente de la cáscara de la mazorca puede conducir a la mejora de indicadores que promuevan el desarrollo económico-social, garantizando la seguridad alimentaria y la conservación de los recursos naturales y el medio ambiente.

1.6 Alcance y limitaciones

1.6.1 Alcance

A través de la presente investigación se precisó diversas estrategias que posibilitan la valorización de la cáscara de la mazorca, con el objetivo de sensibilizar tanto a los productores como a las industrias a nivel nacional sobre la diversidad y viabilidad de las alternativas existentes, así como otorgar referencias para otros países productores de cacao.

1.6.2 Limitaciones

La implementación de nuevas estrategias de valorización para la cáscara de la mazorca de cacao a nivel nacional y mundial representa un gran desafío para la industria.

Su implementación aún se encuentra en proceso de desarrollo, se requiere de empresas que apuesten por nuevos modelos de producción sostenible del cacao. En efecto, la ejecución de ensayos

industriales que profundicen en un diagnóstico técnico es fundamental para justificar la inversión por parte de las empresas involucradas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

A continuación, se presentan 4 estudios relacionados de los últimos años. Estos han sido tomados como antecedentes importantes para el desarrollo de esta investigación.

Lu et al. (2018) evaluaron la composición de la cáscara de la mazorca de cacao, identificando diversos compuestos orgánicos de interés (fibras, dietéticas, polifenoles y minerales). Determinaron que el cultivo del cacao en los países en vía de desarrollo, representan una materia prima que no solo debe ser aprovechada por las habas, sino también por los residuos generados durante su procesamiento (cáscara de la mazorca, exudado del mucílago y cáscara de la semilla). Precisaron también que la valorización de la cáscara de la mazorca puede ser clasificada en dos categorías: de bajo valor (materias orgánicas y alimentación animal) y de alto valor (aplicaciones biotecnológicas y alimentarias). En concreto, su estudio sostuvo que nuevas vías de valorización promueven el desarrollo de un sistema productivo del cacao sostenible, además recomendaron que futuros estudios deben centrarse en nuevas tecnologías que permitan la recuperación eficiente de sus principales compuestos orgánicos.

Hidalgo (2019) determinó que el polvo obtenido de la cáscara de la mazorca posee una matriz alimentaria con alto potencial para ser usado en el desarrollo de alimentos que requieran conservarse frescos, tal es el caso de la industria de panadería, bollería y pastelería. En

efecto, su alto contenido de fibra dietética le atribuye una alta capacidad de retención de agua. Su estudio también reveló que otros componentes orgánicos mayoritarios en su composición son los polifenoles, constituidos principalmente por grupos de compuestos fenólicos, tales como flavonoides, estilbenoides, fenil propanoides y derivados del benzoico que le atribuyen una alta capacidad de reducir el estrés oxidativo, muy vinculado con la prevención de enfermedades crónicas. A modo de conclusión, el estudio precisó que la inclusión de la cáscara de la mazorca puede ser considerada como ingrediente para la formulación de alimentos funcionales, revelando que se observó un efecto positivo para prevenir el riesgo de enfermedades cardiovasculares y obesidad.

Vásquez et al. (2019) precisaron que el bajo costo y la disponibilidad de la cáscara de la mazorca hacen que este tipo de residuo sea atractivo para la industria agroalimentaria. Además, destacaron que la evolución de la biotecnología está permitiendo dar soluciones eficaces para reducir los volúmenes de biomasa residual generados en la producción y transformación del cacao, tales como la inclusión en la industria de alimentos, producción de biocombustibles, biomateriales y piensos. Por otro lado, los autores enfatizaron que la valorización de la cáscara de la mazorca, así como la cáscara de semilla y exudado del mucilago, podrían mejorar determinados indicadores socioeconómicos y ambientales, considerando una reducción en el calentamiento global y la generación de ingresos económicos adicionales.

Mariatti et al. (2021) mostraron en su investigación claros ejemplos de alternativas de valorización para la cáscara de la mazorca y cáscara de semilla. El estudio realizado estuvo enfocado fundamentalmente en registrar tecnologías emergentes que puedan ser claves en la recuperación de los compuestos orgánicos presentes en la cáscara de la mazorca, como por ejemplo extracción con líquidos presurizados y extracción con fluidos supercríticos. Sin embargo, los autores reportaron que existe la necesidad de realizar investigaciones más extensas que puedan profundizar la viabilidad de las técnicas reportadas, con el objetivo de implementar innovadores modelos sostenibles de producción de cacao.

2.2 Bases teóricas

El término “cacao” (*Theobroma cacao L.*) puede englobar varias definiciones. Comúnmente se emplea para referirse a las semillas de cacao fermentadas y secas, sin embargo, desde un punto de vista más integral y botánico, la definición cacao hace referencia a los frutos que se producen en el árbol y a la misma planta presente en las parcelas (Minifie, 2012).

Los frutos del cacao reciben la denominación “mazorcas”, crecen en los árboles que son denominados “cacaoteros”, y es la parte más valorizada por la agroindustria. Su taxonomía depende principalmente de sus características morfogeográficas (Ballesteros et al. 2015). Por lo general, la producción por árbol es más de 60 mazorcas y cada una contiene de 20 a 40 semillas aproximadamente cubiertas por una masa mucilaginosa. La producción de cacao más representativa a nivel mundial se da en África Occidental, pero la amplia diversidad de los ecosistemas de América Latina le atribuye a la región siete de los 11 clusters genéticos del cacao, dando lugar a que la región sea responsable del 80% de la producción y cosecha mundial del cacao fino y de aroma (Gómez-García & Vignati, 2016).

Por lo que se refiere a los residuos que conforman la biomasa residual del cacao, se tiene identificado a la cáscara de la mazorca, exudado de mucílago y cáscara de la semilla, equivalentes alrededor del 80-85% del fruto fresco (Nair, 2010), ver Figura 1.

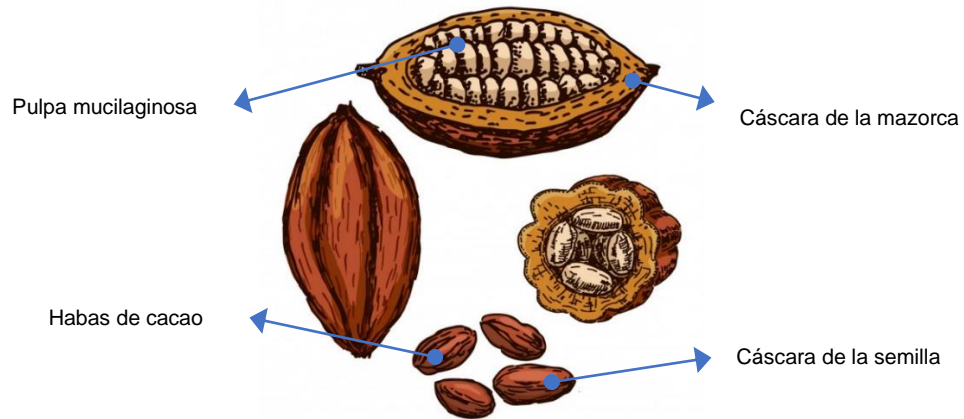


Figura 1. Fruto y biomasa residual del cacao

Fuente: Shutterstock.com

Con respecto a su procesado y generación, se inicia con la recogida y abertura de las mazorcas que permiten la extracción de las semillas cubiertas con la pulpa mucilaginosa. La ejecución de este procesado tiene como resultado la cáscara de la mazorca, primer residuo generado a lo largo de la cadena de valor del cacao y objeto de la presente investigación. Se estima que representa al 67–76% del fruto (Mariatti, Gunjević, Boffa & Cravotto, 2021).

Posteriormente, su procesado continua con una serie de etapas que forman parte de la cadena de valor del cacao, y en consecuencia la generación de biomasa residual. De manera muy concreta, en la Figura 2 se presenta todas las etapas del procesado.

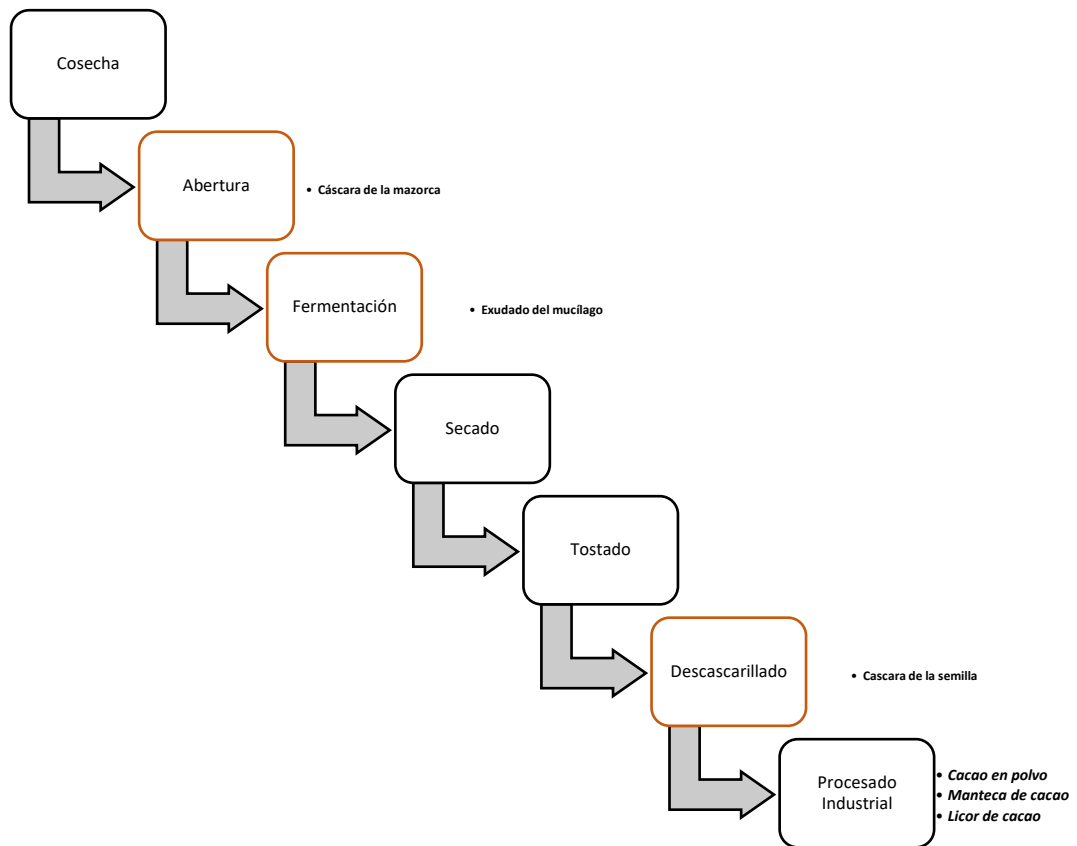


Figura 2. Procesado y generación de la biomasa residual del cacao

Elaborado por: el autor

Es necesario incidir en que la fermentación permite la formación de metabolitos (siendo los más representativos: etanol, ácido láctico y ácido acético) (Schwan & Wheals, 2004), claves en la producción de las habas de cacao, además durante esta etapa se tiene como resultado el segundo residuo, identificado como el exudado del mucílago. Finalizado el proceso de fermentación, las semillas de cacao son secadas para luego ser procesadas a nivel industrial (tostado y descascarillado). Dando lugar al tercer y último residuo identificado que integra la biomasa residual, la cáscara de semilla.

La biomasa residual del cacao se caracteriza por ser de naturaleza lignocelulósica y que, en conjunto con otros residuos generados en las diversas actividades agrícolas, se estima que representan el 60% aprox. de la biomasa vegetal total (Rodrigues et al., 2017). Sin embargo, grandes volúmenes de cáscara de la mazorca continúan

acumulándose en las parcelas generando contaminación, propagación de plagas y enfermedades que se mantienen cíclicamente en el cultivo.

Un claro ejemplo, el vertido de la cáscara de la mazorca en la superficie de los cultivos desarrolla la presencia de *Phytophthora* spp, microorganismo causante de las principales enfermedades del fruto del cacao (Yapo et al., 2013; Vriesmann et al., 2011), e incluso la muerte de la planta debido a los ciclos sucesivos del patógeno. Del mismo modo, su alta humedad y contenido orgánico generan una rápida degradación de su composición química produciendo una alta cantidad de metano y dióxido de carbono que generan un incremento en el calentamiento global (Hansen & Cheong, 2019).

Por otro lado, Aguirre (2015) afirmó que la cáscara de la mazorca posee compuestos bioactivos de interés que podrían ser puestos en valor. Además, Della et al. (2005) confirmaron que la cáscara de la mazorca generada durante la cadena de valor ya no puede definirse como un residuo sin valor, sino como un subproducto que puede ser empleado a nivel industrial. Por consiguiente, la generación de grandes volúmenes de cáscara de la mazorca requiere de nuevas estrategias para mejorar su gestión, es evidente que la producción de compuestos indeseados afecta a la producción y representan una amenaza para los recursos naturales, el medio ambiente y la salud de los agricultores y sus familias.

Es así, que la comunidad científica y la industria están mostrando mayor interés por monitorear más de sus interesantes y potenciales características (tales como: biológicas, nutricionales, físicas y químicas). Y que asociadas al incremento del mercado por la demanda de productos funcionales y sostenibles debido a la reciente pandemia de COVID 19 (Galanakis, 2020) y el grave problema al que se enfrenta la sociedad frente al calentamiento global y agotamiento de los recursos naturales, la cáscara de la mazorca representa una gran alternativa para el desarrollo de la industria en el marco de la sostenibilidad.

2.3 Definición de términos básicos

2.3.1 Biomasa residual

Es la denominación asignada a los residuos generados durante la producción, transformación y consumo de productos de origen vegetal. Su clasificación se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de la biomasa residual a partir de su origen

Biomasa residual	Residuos generados en la industria: forestales, agroalimentarios, agrícolas
	Residuos generados a nivel urbano: residuos sólidos, aguas residuales

Fuente: FAO (2017)

En la Tabla 2 se muestra su clasificación a partir de sus componentes estructurales.

Tabla 2. Clasificación de la biomasa residual a partir de su composición

Biomasa lignocelulósica	Constituida básicamente por celulosa, hemicelulosa y lignina (matrices de origen vegetal)
Biomasa amilácea	Constituida por hidratos de carbono, presentes en forma de polisacáridos de reserva, como el almidón o la inulina
Biomasa azucarada	Su principal componente son los azúcares, como los monosacáridos (glucosa o fructosa) o disacáridos (sacarosa)
Biomasa oleaginosa	Su componente principal son los lípidos

Fuente: Sebastián (2010)

Específicamente para el desarrollo de la presente investigación, se hace referencia a la cáscara de la mazorca, residuo agrícola de origen vegetal y de naturaleza lignocelulósica.

2.3.2 Cáscara de la mazorca de cacao

Son consideradas materias orgánicas de desecho, que vienen representando un grave problema para el sistema productivo del cacao por su inadecuada gestión. Se constituye por tres capas: el exocarpio (capa externa), la capa intermedia o mesocarpio y la capa interior o endocarpio. Por lo que se refiere al mesocarpio, es la capa formada por una estructura bastante rígida que permite proteger al fruto de los factores externos (animales, golpes, entre otros), esta característica depende básicamente del origen del fruto del cacao. Usualmente la variedad criolla posee una estructura más suave, mientras que el Forastero Amazónico presenta una mayor rigidez, existiendo muy poca variabilidad entre las mazorcas de un mismo árbol (Johnson, Bonilla & Agüero, 2008). Asimismo, hay que destacar que su matriz alimentaria no solo depende del origen, sino también de la variedad y el procesado.

2.3.3 Estrategias de valorización

Son aquellas alternativas que permiten gestionar grandes cantidades de materia sin valor comercial, obtenidas durante las principales operaciones productivas tanto agropecuarias como forestales. Durante los últimos años vienen despertando mayor interés por tratarse de procesos eficientes y sostenibles, que posibilitan gestionar nuevas vías de valorización de los grandes volúmenes de materia acumulada. En este contexto, se puede definir a la cáscara de la mazorca como un producto integrador y generador de nuevas oportunidades, y que su aprovechamiento resulta interesante para dar una transformación al sistema productivo del cacao en los países en vía de desarrollo, donde la economía lineal tradicional busca encontrar vías alternativas para orientarse hacia una economía circular.

2.3.4 Bioconversión

La generación y acumulación constante de residuos orgánicos constituye uno de los principales desafíos que enfrenta la sostenibilidad, a esa visión responden las acciones de

bioconversión que son aplicadas a la materia orgánica con la finalidad de disminuir la cantidad de residuos a disponer, promoviendo impactos positivos para el medio ambiente (Vásquez et al., 2019) y la sociedad. Claros ejemplos de su aplicación son el desarrollo de nuevos productos mediante la aplicación directa de procesos mínimos o complejos y transformación química.

2.3.5 Bioeconomía

Conviene especificar que la definición está muy relacionada con el concepto que se le otorga al término bioconversión. Sin embargo, Osborne (2010) sugirió en su estudio que la definición más apropiada del concepto de bioeconomía se contempla como el conjunto agregado de las operaciones económicas en un colectivo social que corresponden al valor latente en procesos biológicos y productos, permitiendo captar nuevos beneficios de crecimiento y generando oportunidades de bienestar para los ciudadanos y naciones (desarrollo económico y empleo). En cuanto a la gama de sectores que integra su ámbito de aplicación, se precisan: la agricultura, la silvicultura, la pesca, la alimentación y la biotecnología (McCormick & Kautto, 2013).

2.3.6 Extracción química

La extracción de componentes orgánicos presentes en los residuos agrícolas se puede realizar mediante varios procedimientos, sin embargo, el rendimiento principalmente va a depender de las ventajas y desventajas del método escogido. Actualmente, se está prestando cada vez más atención a los métodos de extracción amigables con el medio ambiente basados en los principios de la química verde (Hano & Tungmunthum, 2020). De acuerdo con Mariatti et al. (2021), las "extracciones verdes" son una excelente alternativa que se caracterizan por emplear solventes orgánicos. Para la cáscara de la mazorca diversos estudios se están enfocando en nuevas tecnologías verdes para la recuperación de pectina y polifenoles, tales como extracciones con líquidos presurizados, extracciones con agua subcrítica...

2.3.7 Compuestos bioactivos

Los compuestos bioactivos son un tipo de químico que se encuentra en pequeñas cantidades en las plantas y ciertos alimentos como frutas, verduras, y otros productos de origen vegetal. Además, se destaca que tienen acciones en el organismo que pueden promover la buena salud. En concreto, una excelente definición fue la reportada por Frank et al. (2020), quienes precisaron que los compuestos bioactivos son componentes de los alimentos o suplementos dietéticos, distintos de los necesarios que sirven para satisfacer las necesidades nutricionales básicas, cumpliendo un rol importante en los cambios del estado de salud.

2.3.8 Fibra dietética

Según Chamorro & Mamani (2010) es aquella que se encuentra en los vegetales y se clasifican en dos grupos: soluble e insoluble. De acuerdo con el tipo de fibra su actividad en el organismo puede variar, básicamente desempeñan funciones de prevención, como controlar los niveles de colesterol y por otra parte actúan como agentes nutritivos. Hoy en día es importante la ingesta de la fibra dietética, debido a que diversos estudios han reportado efectos beneficiosos para la salud y se demostró también que mientras mayor sea la viscosidad mejor serán sus propiedades (Escudero & González, 2006).

2.3.9 Minerales

Pueden considerarse como sustancias no orgánicas distribuidas en gran parte de la naturaleza y presentes también en distintos alimentos. Conviene recordar que son componentes esenciales para el ser humano, ya que el organismo no es capaz de sintetizarlo a partir de otros compuestos y por lo tanto su ingesta depende de los alimentos que se consuman. Además, se sabe que su composición es fundamental para el desarrollo de diversas estructuras del cuerpo humano, como dientes, huesos, sangre... (Insanu et al., 2021).

2.3.10 Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos están presentes en gran parte del reino vegetal, y se han clasificado en cuatro grupos: los compuestos fenólicos, terpénicos, azufrados y nitrogenados (Tomás-Barberán, 2003). El término “polifenol” es empleado para definir compuestos derivados de las rutas de shikimato y fenilpropanoide, cuya estructura química presenta más de una unidad fenólica y están privados de funciones basadas en nitrógeno. Además, los compuestos fenólicos están considerados como el grupo de metabolitos secundarios más numerosos distribuido entre las distintas especies vegetales, se caracterizan por tener en su estructura química al menos dos grupos fenólicos asociados en estructuras más o menos complejas, y por lo general de alto peso molecular (Quideau et al., 2011). Por otra parte, dependiendo de su estructura, su clasificación puede darse en grupos como los ácidos fenólicos (benzoicos y cinámicos), flavonoides (antocianinas, flavonoides, flavonoles, flavonas, flavanonas, isoflavonas), estilbenos y lignanos (Ugartondo, 2009). Asimismo, los polifenoles alimentarios se pueden clasificar en dos grupos: extraíbles (ácidos fenólicos) y no extraíbles, estos últimos son compuestos con un elevado peso molecular que se pueden encontrar en los residuos de las extracciones, incluyendo los taninos hidrolizables y taninos condensados con un elevado número de unidades en la cadena polimérica (Larrea, 2012).

2.3.11 Desarrollo sostenible

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), mediante los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible lo definen como una visión más justa, próspera y pacífica en la que predomine el progreso hacia un modelo que cumpla las necesidades de la sociedad en el presente, sin comprometer el futuro de los recursos naturales y el medio ambiente. Por consiguiente, el desarrollo de nuevas vías de valorización para la cáscara de la mazorca de cacao resulta interesante para el desarrollo social, económico y medioambiental. En

síntesis, el desarrollo sostenible ya no puede considerarse como una alternativa, sino una necesidad que permite garantizar un presente y un futuro responsable tanto para el sector agroalimentario y la sociedad.

2.3.12 Producción Más Limpia (PML)

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), se define como una metodología o estrategia preventiva que se pone a disposición de la industria, con el fin de encontrar soluciones que se ajusten al marco de la sostenibilidad y cumplan con dos características fundamentales: mejorar la eficiencia global y reducir los riesgos para los seres humanos y medio ambiente. Su ámbito de aplicación está clasificado en tres categorías, los procesos de producción (reducción de desechos), desarrollo y diseño del producto (reducción de los impactos negativos) y servicios (consideraciones ambientales). Por otro parte, se destaca que la base para la implementación de una PML es el análisis mediante una apreciación global que atienda a las siguientes preguntas: ¿qué datos necesito?, ¿de dónde los obtengo? y ¿qué fuentes de información existen?.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Método de investigación

El método de investigación empleado fue “revisión de la literatura científica”. El propósito del mismo se enmarcó en revisar la información necesaria que contribuya a contextualizar el motivo de la investigación, y por otro lado fortalecer el progreso de nuevas estrategias de valorización para la cáscara de la mazorca como nuevo modelo de desarrollo sostenible.

3.2 Tratamiento de la información

- A. Se realizó una búsqueda de la literatura científica en las principales bases de datos: Scopus, PubMed y Web of Science. La finalidad de la búsqueda fue identificar estudios que permitan describir el tema de interés (motivo de la investigación).
- B. Los estudios con mayor relevancia identificados a partir de las palabras claves y otras similares en su búsqueda, fueron seleccionados y examinados con el fin de extraer resultados que contribuyan a valorar el tema planteado en la investigación.
- C. La información obtenida se sintetizó de manera integral en la redacción final. Se hizo referencia a los estudios a medida en que se utilizó la información de cada trabajo revisado.

3.3 Diseño metodológico

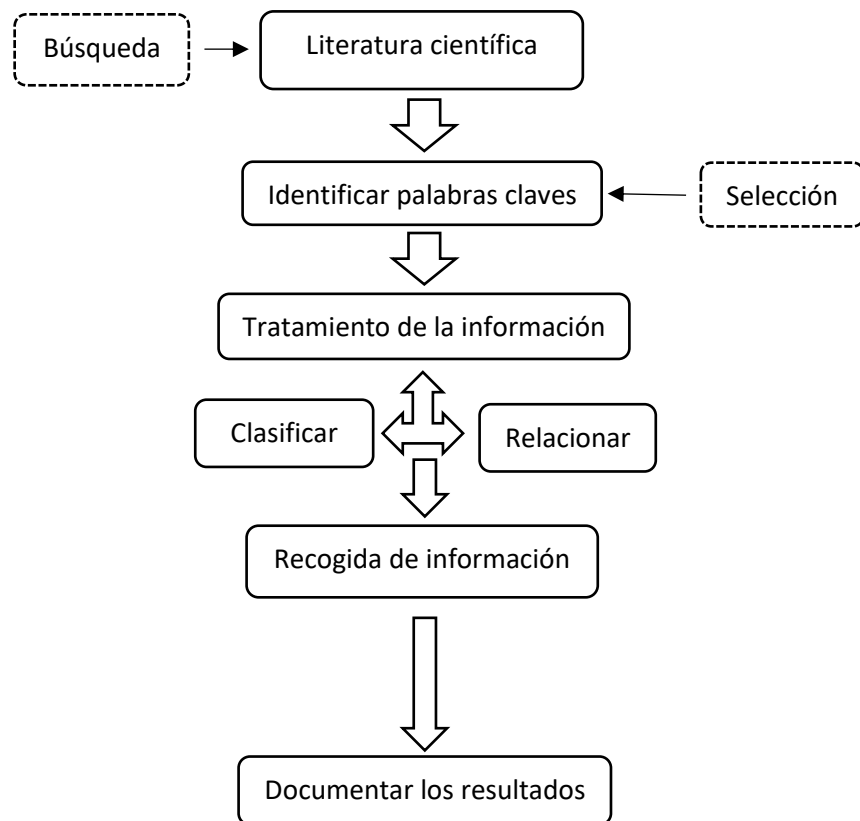


Figura 3. Diseño metodológico

Elaborado por: el autor

3.4 Matriz de consistencia

Tabla 3. Matriz de consistencia

TITULO: "ESTRATEGIAS DE VALORIZACIÓN PARA LA CÁSCARA DE LA MAZORCA DE CACAO COMO NUEVO MODELO DE DESARROLLO SOSTENIBLE"				
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>PROBLEMA GENERAL</p> <p>¿Es posible obtener un nuevo modelo de desarrollo sostenible a partir de innovadoras estrategias de valorización para la cáscara de mazorca de cacao?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Examinar el estado de la información alineado a las estrategias de valorización para la cáscara de mazorca de cacao como nuevo modelo de desarrollo sostenible</p>	<p>HIPOTESIS GENERAL</p> <p>Si se aplican innovadoras estrategias de valorización para la cáscara de mazorca de cacao, entonces, se podrá obtener un nuevo modelo de desarrollo sostenible</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE (VI)</p> <p>"Estrategias de valorización"</p> <p>Indicadores de la V.I:</p> <p>-Producción</p> <p>-Potencial tecnológico y comercial</p> <p>-Viabilidad en el marco de la sostenibilidad</p>	<p>Tipo de investigación:</p> <p>Cualitativa, Descriptiva y Explicativa</p> <p>Diseño de investigación:</p> <p>Diseño no experimental</p>
<p>PROBLEMAS ESPECIFICOS</p> <p>a)¿Existe un impacto de la producción, composición química, beneficios para la salud y mercado global de la cáscara de la mazorca de cacao en las bases de un nuevo modelo de desarrollo sostenible?</p> <p>b)¿Qué estrategias de valorización para la cáscara de la mazorca de cacao existen en los distintos niveles y categorías industriales?</p> <p>c)¿En el marco de la sostenibilidad existen estrategias más convenientes para la valorización de la cáscara de la mazorca de cacao a nivel nacional?</p>	<p>OBJETIVOS ESPECIFICOS</p> <p>a) Evaluar el impacto de la producción, composición química, beneficios para la salud y mercado global de la cáscara de la mazorca de cacao en las bases de un nuevo modelo de desarrollo sostenible</p> <p>b)Establecer estrategias de valorización para la cáscara de la mazorca de cacao en los distintos niveles y categorías industriales</p> <p>c)Estudiar la viabilidad de las estrategias de valorización más conveniente para la cáscara de la mazorca de cacao a nivel nacional en el marco de la sostenibilidad</p>	<p>HIPOTESIS ESPECIFICAS</p> <p>H₁: Existe un impacto de la producción, composición química, beneficios para la salud y mercado global de la cáscara de la mazorca de cacao en las bases de un nuevo modelo de desarrollo sostenible</p> <p>H₀: No existe un impacto de la producción, composición química, beneficios para la salud y mercado global de la cáscara de la mazorca de cacao en las bases de un nuevo modelo de desarrollo sostenible</p> <p>H₁: Existen estrategias de valorización para la cáscara de la mazorca de cacao en los distintos niveles y categorías industriales</p> <p>H₀: No existen estrategias de valorización para la cáscara de la mazorca de cacao en los distintos niveles y categorías industriales</p> <p>H₁: Existen estrategias de valorización más convenientes para la cáscara de la mazorca de cacao a nivel nacional en el marco de la sostenibilidad</p> <p>H₀: No existen estrategias de valorización más convenientes para la cáscara de la mazorca de cacao a nivel nacional en el marco de la sostenibilidad</p>	<p>VARIABLE DEPENDIENTE (VD)</p> <p>"Desarrollo sostenible"</p> <p>Indicadores de la V.D:</p> <p>-Tipos de estrategias de valorización</p> <p>-Tipos de vías de aprovechamiento en los distintos niveles y categorías industriales</p>	<p>Técnica para la recolección de datos:</p> <p>Revisión de la literatura científica</p> <p>Instrumentos:</p> <p>Fuentes bibliográficas, hemerográficas y electrónicas</p>

Elaborado por: el autor

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Producción nacional

Por lo que refiere el Ministerio de Agricultura y Riego (MIDAGRI) el cultivo y producción de las plantaciones de cacao tienen un buen comportamiento productivo en diversas zonas geográficas del Perú. Además, su cadena de suministro representa una variante influyente en los indicadores económicos y sociales del país. Es decir, constituye una actividad fundamental para el desarrollo e incremento de la calidad de vida de la población de las principales zonas productoras.

Prueba de ello son los registros de la producción a nivel nacional, donde se identificó que durante el 2019 su actividad agrícola generó alrededor de 11 millones de jornales y benefició de manera directa a más de 90 mil familias, e indirectamente a 450,000 mil personas en las zonas altamente productoras que se encuentran principalmente en la selva peruana (MIDAGRI, 2020).

Por otra parte, según el último Boletín de Publicación Trimestral N.º 01 – 2021 proporcionado por el Viceministerio de Políticas y Supervisión del Desarrollo Agrario, se conoce que las variedades más cultivadas en el Perú son: Trinitario 53% (cultivado en Junín), Forastero Amazónico 37,3% (cultivado en Cusco y Ayacucho) y Criollo 9.4% (cultivado en la zona norte de San Martín, Amazonas y Cajamarca).

Con el objetivo de profundizar el conocimiento relacionado con la producción nacional de cacao. En la Tabla 4 se revela la producción entre las distintas zonas productoras a nivel nacional de los últimos cinco años. Previamente se debe aclarar que las cifras reveladas en la Tabla 4 y Figura 4 hacen referencia a las habas de cacao fermentadas y secas.

Tabla 4. Producción regional de cacao (En toneladas)

Año/Dpto.	2016	2017	2018	2019	2020	Totales
San Martín	45.996	51.440	56.136	54.184	60.076	267.832
Junín	21.400	21.801	24.755	25.560	27.536	121.052
Huánuco	6.491	8.912	10.392	13.403	14.395	53.593
Cusco	10.788	8.707	8.192	9.915	7.424	45.026
Ucayali	8.622	13.245	16.587	17.031	21.705	77.190
Pasco	1.338	1.835	3.881	4.407	4.033	15.494
Amazonas	4.224	6.352	4.514	5.108	3.367	23.565
Piura	658	599	1.009	1.438	1.385	5.089
Cajamarca	1.001	996	955	1.121	1.390	5.463
Ayacucho	5.544	5.056	5.113	5.998	5.634	27.345
Otros Dptos.	1.858	2.881	3.141	3.612	4.675	16.167
Total	107.920	121.824	134.675	141.777	151.620	

Fuente: MIDAGRI (2021)

Se destaca la participación del departamento de San Martín, el más importante productor a nivel regional; le sigue en importancia Junín y Ucayali; Piura y Cajamarca registraron las producciones más bajas en los años objeto de estudio.

Para una mejor comprensión, se muestra en la Figura 4 el comportamiento de la producción a nivel nacional para el mismo periodo.

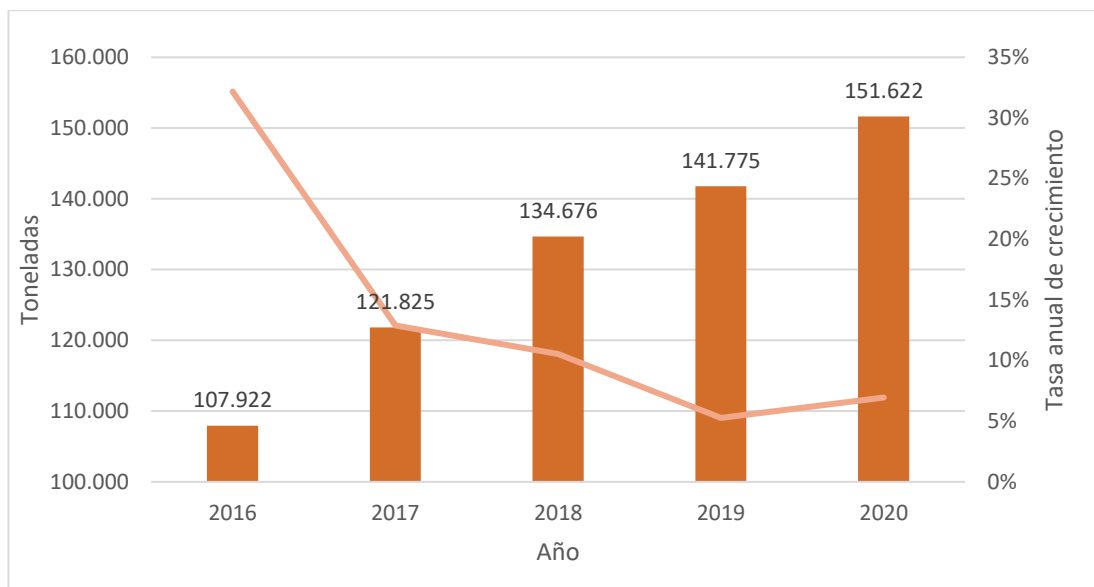


Figura 4. Comportamiento de la producción nacional de cacao

Fuente: MIDAGRI (2021)

Según se observó en la Figura 4, en todos los años objeto de estudio, la cantidad producida se incrementó a un ritmo constante. Este resultado se le puede atribuir al desarrollo de capacitaciones (talleres en temas de manejo integral de plagas y enfermedades, sistema de riego por goteo, fertirriego, fertilización, entre otros) para los productores de cacao por parte del MIDAGRI. En otro orden de cosas, cabe destacar que la producción nacional ha registrado tasas de crecimiento con algunas fluctuaciones durante los últimos años, 32.17% periodo 2015-2016. Y por contrapartida la tasa de crecimiento más baja se reveló en el periodo 2018-2019 (5.27%). El promedio para las tasas de crecimiento obtenidas fue de 13.56%.

Durante los últimos años se vienen proponiendo sistemas productivos con una visión incluyente y sustentable, que permita en todo momento potencializar la sostenibilidad en los procesos. El sistema productivo del cacao no es ajeno a esta innovadora perspectiva. En efecto, a continuación se presentan las determinaciones que permitieron estimar la cantidad de cáscara de la mazorca de cacao generada a nivel nacional.

Durante la producción y transformación del cacao se generan por cada tonelada de producto (habas de cacao fermentadas y secas) alrededor de 9-10 toneladas de biomasa residual y equivale al 90% del fruto total (Valadez-Carmona et al., 2017). Para su mejor visualización ver Figura 5.

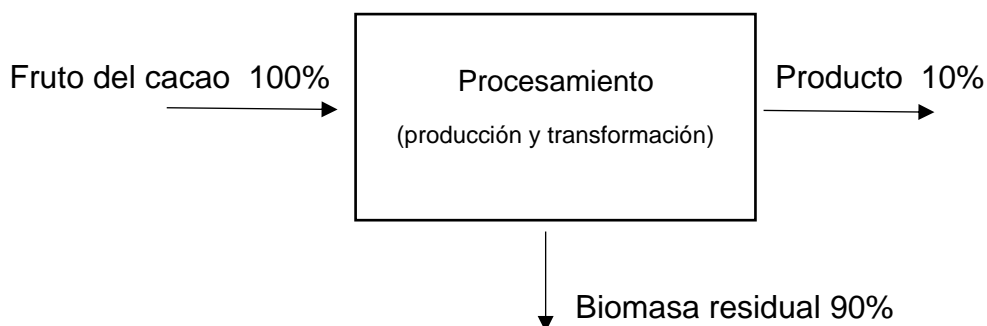


Figura 5. Balance de masa del fruto del cacao

Elaborado por: el autor

Una vez establecida la producción de habas de cacao y en base a este interesante planteamiento formulado y resumido en la Figura 5, se procedió a realizar los cálculos respectivos para estimar la cantidad de cáscara de la mazorca generado en la producción nacional durante los últimos cinco años.

Tabla 5. Generación de cáscara de la mazorca (En toneladas)

Año	Producto	Producto / 10 BR	76% CM
2020	151.622	1.516.220	1.152.327
2019	141.775	1.417.750	1.077.490
2018	134.676	1.346.760	1.023.538
2017	121.825	1.218.250	925.870
2016	107.922	1.079.220	820.207

Elaborado por: el autor

Como se aprecia en el Tabla 5, la segunda columna de la izquierda muestra la cantidad total de producto por año; la tercera columna calcula la cantidad total de biomasa residual (BR), estimándose que por cada tonelada de producto se generan 10 toneladas de

BR. Finalmente, la última columna muestra la cantidad que le corresponde del total de la BR a la cáscara de la mazorca (CM). Calculado a partir de lo reportado por Mariatti, Gunjević, Boffa & Cravotto (2021), quienes estudiaron que la cáscara de la mazorca representa el 67–76% de la biomasa residual.

En definitiva, grandes volúmenes de cáscara de la mazorca han sido generados a nivel nacional durante los últimos cinco años. En la mayoría de las zonas productoras son consideradas como desperdicio siendo vertidos a la tierra, desaprovechándose sus potenciales características tecnológicas y comerciales; y generando graves problemas medioambientales.

Por otro lado, es oportuno mencionar a las exportaciones peruanas de biomasa residual, el Centro de Comercio Internacional en su reporte más reciente destacó que los países que registraron mayor importación nacional de cáscara y otros residuos de cacao fueron Brasil y Argentina. Asimismo, durante el 2019 la exportación alcanzó las 274 toneladas de biomasa residual, paralelamente, se reportó una tasa de crecimiento entre 2015-2019 del 35%.

4.2 Composición química

La composición química de la cáscara de la mazorca ha sido reportada por diversos autores desde finales del siglo pasado y hasta la actualidad. Aunque su composición no solo depende del origen del cacao, sino también de la variedad y el procesado, la mayoría de sus componentes químicos están asociados con una importante actividad funcional y tecnológica.

En consonancia con lo mencionado y con el objetivo de fomentar el desarrollo de innovadoras estrategias de valorización para la cáscara de la mazorca, tales como métodos de extracción, purificación y valorización de los componentes con mayor potencial. En la siguiente sección se recogió toda la información relativa a su composición química.

La matriz alimentaria de la cáscara de la mazorca está constituida principalmente por fibra dietética. Yapo, Besson, Koubala & Koffi (2013) precisaron que alrededor del 59% de su composición es fibra dietética, la cual incluye fibra dietética soluble y fibra dietética insoluble, 11 y 48% respectivamente. Ésta a su vez está formada por oligosacáridos, β -glucano, hemicelulosa, lignina, pectina y celulosa. Para el grupo de hemicelulosas se destaca el arabinano, xilano y arabinoxilano, que se obtiene a partir de la gran cantidad de xilosa aislable y arabinosa (Bonvehí & Benería, 1998). Otras hemicelulosas como los xiloclucanos y galactomananos también fueron encontrados en la cáscara de la mazorca (Vriesmann, Amboni & de Oliveira Petkowicz, 2011).

Para la caracterización de los metabolitos primarios presentes en la cáscara de la mazorca, Nieto-Figueroa et al. (2020) identificaron el contenido de carbohidratos, proteínas y lípidos, reportando valores que oscilan entre 74.7-78.9%, 6.3-7.2% y 0.2-0.7%, respectivamente. Por otra parte, la cáscara de la mazorca también es una fuente rica de minerales esenciales, como el K (2.8-3.8%), Ca (II) (0.25-0.46%), Mg (II) (0.11-0.25%) y P (III) (0.19%) (Lu et al., 2018).

Si bien, tal y como se mencionó, la composición de la cáscara de la mazorca consiste principalmente en materiales fibrosos, el contenido de compuestos químicos sintetizados por la misma planta de cacao le atribuye un mayor grado de funcionalidad. En consecuencia, Tran (2021) observó que la composición de metabolitos secundarios de la cáscara de la mazorca está integrada por compuestos fenólicos, saponinas, esteroides y alcaloides. Dentro del grupo de los polifenoles se identificó que la mayoría de los compuestos son del tipo flavonoides, considerando a los monómeros tales como la catequina, taninos, dímeros, epicatequina y procianidinas, que también fueron identificados en otros subproductos del cacao (Adi-Dako et al., 2016; Martínez et al., 2012; Vásquez et al., 2019). Según Valadez-Carmona et al. (2017), su composición también presenta ácido gálico, protocatecuico, cumárico y quercetina. Además de polifenoles, la cáscara de la mazorca también posee compuestos

del grupo de las metilxantinas tales como teobromina y cafeína (Yuli, Eka & Yazmendra, 2021).

Otro grupo químico importante en su composición son los compuestos orgánicos volátiles. Tiburcio (2017) monitoreó 50 de ellos y de acuerdo con su estudio la estructura de los compuestos volátiles presentes en la cáscara de la mazorca está integrada por 8 aldehídos, 5 ésteres, 2 aminas, 16 alcoholes, 11 hidrocarburos, 7 cetonas y ácido isovalérico. Análogamente, Zinla, Gbaha, Koffi & Koua (2021) reportaron que este grupo de componentes representa alrededor del 66% de la composición química de la cáscara de la mazorca. Algunos de los componentes más importantes observados fueron eucaliptol, naftaleno, eugenol y D-limoneno (Ginting & Purnama, 2020).

Además de la matriz alimentaria identificada, se reportó que la composición de la cáscara de la mazorca puede variar entre 10-15% dependiendo del tratamiento al que se someta. Su contenido de humedad es alrededor del 12.21% y actividad de agua 0,46 (Tran, 2021). Por otro lado, Correia, Grace, Esposito & Lila (2017) precisaron que cuanto mayor es el contenido de proteínas, mayor es la capacidad de retención de agua de la materia orgánica derivada de la cáscara de la mazorca.

Sin embargo, es oportuno reportar que se informó de la presencia de metales pesados en la cáscara de la mazorca, como: cobre, zinc, níquel, cobalto y plomo, que podrían causar problemas en su aplicación en la industria de alimentos (Zinla et al., 2021).

4.3 Beneficios para salud

Una vez identificada la composición química de la cáscara de la mazorca. A continuación, se describe de manera muy objetiva el estado de la información que asocia los componentes más representativos con sus potenciales beneficios para la salud.

Para la cáscara de la mazorca se estudió que debido a su alto contenido de fibra posee un gran potencial para prevenir

enfermedades cardíacas y respiratorias, posee una fuerte actividad inhibidora contra el cáncer y conserva las principales funciones vitales de las matrices celulares (Campos-Vega et al., 2018; Mariatti et al., 2021). Por lo comentado, Quiles et al. (2018) confirmaron que una fuente de origen natural que contenga fibra dietética con proporciones equilibradas para la dieta humana será de gran aporte nutricional y de gran interés para la industria de alimentos.

También se identificó que la cáscara de la mazorca dispone de un alto contenido de pectina, muy asociado con distintos efectos positivos para la salud humana como por ejemplo la regulación del apetito, reducción de los niveles de colesterol en la sangre y principalmente en la prevención de desarrollar algún tipo de cáncer (Cádiz-Gurrea et al., 2020; Vásquez et al., 2019).

Por otro lado, se le atribuye también a la cáscara de la mazorca la presencia de minerales tales como magnesio, calcio y potasio, que son fundamentales para mantener las funciones vitales en las células humanas, convirtiendo a la cáscara de la mazorca en una fuente potencial de estos elementos (Yapo et al., 2013).

Del mismo modo, la presencia de compuestos fenólicos le otorgan fuertes propiedades antioxidantes y antiinflamatorias. Bondía-Pons et al. (2009) y Rojo-Poveda et al. (2020) precisaron en sus estudios que estas propiedades juegan un rol importante en la prevención de muchas enfermedades crónicas. Se destaca también que los compuestos orgánicos del grupo flavonoides pueden prevenir el desarrollo de enfermedades como el Alzheimer, Parkinson, neuroinflamación y excitotoxicidad glutamatérgica (Sharma, 2014). Más recientemente, Mariatti et al. (2021) reportaron que durante las últimas décadas diversos estudios vienen determinando sus efectos positivos para la salud y asociado al constante incremento del mercado mundial de polifenoles resulta interesante su aprovechamiento.

Asimismo, se informó que las saponinas y alcaloides presentes en la composición de la cáscara de la mazorca pueden

actuar en la prevención de enfermedades cardiovasculares, diabetes, obesidad y tratar enfermedades infecciosas (Vuong, 2017).

A modo de breve resumen de la sección, en la Tabla 6 se detalló sus potenciales efectos para la salud.

Tabla 6. Potenciales efectos para la salud de la cáscara de la mazorca

<i>Efectos para la salud</i>	<i>Referencia</i>
Potencial antioxidante	(Bondia-Pons <i>et al.</i> , 2009)
Cardioprotección	(Rojo-Poveda <i>et al.</i> , 2020)
Efectos sobre la presión arterial	(Vuong, 2017)
Efectos sobre la función endotelial	(Cádiz-Gurrea <i>et al.</i> , 2020)
Efectos antiinflamatorios	(Mariatti <i>et al.</i> , 2021)
Quimiopreención	(Campos-Vega <i>et al.</i> , 2018)
Neuroprotección	(Sharma, 2014)
Antibacterial	(Yapo <i>et al.</i> , 2013)

Elaborado por: el autor

4.4 Mercado global

En las tres primeras secciones se documenta todos los resultados desde una perspectiva centrada en su producción, composición química y sus potenciales beneficios para la salud. En efecto, la siguiente sección muestra la dimensión comercial en el mercado global de la cáscara de la mazorca a partir de los compuestos químicos más representativos, evaluando así de manera integral el valor que se le atribuye.

De acuerdo con el portal MarketsandMarkets (2021a), el mercado de fibra dietética (soluble e insoluble) viene en constante crecimiento. Se reportó que en el año 2020 su mercado generó USD 5.3 billones y se proyecta que para el 2025 su demanda aumentará hasta los USD

9.6 billones. El crecimiento de su demanda se debe fundamentalmente a que la fibra dietética es empleada como fuente alternativa con importantes propiedades nutricionales para la salud humana.

Por otro lado, el mismo portal dio a conocer que el mercado global de pectina para el 2019 fue de USD 1.0 billones y estimó un crecimiento que puede superar los USD 1.5 billones para el 2025. El incremento de su consumo se debe principalmente a sus propiedades para la salud y su multifuncionalidad reportada a nivel industrial (MarketsandMarkets, 2021b).

En cuanto a los minerales alimentarios, el portal GlobalMarketInsight (2021) precisó que el mercado global de estas sustancias naturales generó transacciones económicas que bordearon los USD 1.4 billones durante el 2019. Asimismo, sus expectativas respecto a su volumen de consumo para el 2025 se estiman en 350 toneladas. Su incremento se debe principalmente a la demanda de minerales naturales presentes en los alimentos, su uso se concentra en la fabricación de alimentos funcionales y nutracéuticos.

Asimismo, se destaca que para el magnesio alimentario su mercado podría superar los USD 1.2 billones para los próximos años. Esto se debe a que su composición desempeña un rol importante en la regulación de más de 300 reacciones enzimáticas como la síntesis de ácidos grasos y proteínas, la transmisión de impulsos nerviosos y el metabolismo de los alimentos. Otra aplicación muy tradicional para esta sustancia es su uso como suplemento energético, debido a que la molécula de energía trifosfato de adenosina se vuelve biológicamente activa bajo la influencia de los iones de magnesio. Todo lo comentado en este párrafo fue reportado en GlobalMarketInsight (2021).

En cuanto al tamaño del mercado de calcio alimentario, se pronosticó que para el 2025 podría experimentar incrementos del 5.5% en sus ganancias (GlobalMarketInsight, 2021). Básicamente el incremento de su demanda se debe a que posee importantes bondades para el sistema óseo, potenciales beneficios para los dientes, músculos y sangre.

Al mismo tiempo, también juega un rol vital en las contracciones de los músculos cardiovasculares y reduce el riesgo de hipertensión y enfermedades coronarias. Se conoce también que su disponibilidad es amplia (cápsulas, polvos y líquidos), lo que impulsaría más el crecimiento de su mercado.

Para el mercado global de polifenoles se estimó que para el 2025 generará transacciones por USD 2.08 billones. Análogamente, su tasa de crecimiento anual fue de 7.2 %. Su demanda confirma la biodisponibilidad de este componente para el tratamiento de enfermedades tales como la diabetes, cáncer, colesterol y sus diversas aplicaciones en la industria de alimentos y bebidas. Así lo informo el último reporte publicado en GrandViewResearch (2021).

4.5 Estrategias de valorización

A partir de todo lo comentado anteriormente, se precisa que la cáscara de la mazorca de cacao posee un enorme potencial para su valorización. En este sentido, el contenido de este apartado tiene como objetivo proponer las bases de manera estructurada de las diversas estrategias de valorización que otorguen un valor agregado a la cáscara de la mazorca. Para una mejor comprensión, se optó por realizar una primera clasificación en donde se propusieron sus vías de aprovechamiento, haciéndose referencia a sus distintos niveles de procesamiento industrial. Luego se detallaron las alternativas que incluyen cada vía, otorgándole la denominación de estrategias de valorización. Finalmente, y con el propósito de otorgar referencias para su implementación a nivel industrial, de manera sistemática se agruparon en sus principales categorías industriales.

Conviene especificar que la información recogida no es una revisión exhaustiva de todas las estrategias de valorización presentadas en los últimos años. Existen demasiadas referencias que hacen imposible un registro de todas las posibles aplicaciones propuestas. Sin embargo, en este apartado se mencionó las estrategias más viables con el propósito de sensibilizar tanto a los productores como a las

industrias sobre la diversidad de alternativas existentes, de manera que la cáscara de la mazorca deje de ser considerado un subproducto sin valor.

Análogamente, por lo que se refiere a la primera clasificación propuesta, se han encontrado vías de aprovechamiento en todos los niveles de procesamiento industrial: desde las más simples (secado y molienda) hasta las más complejas que requieren equipos modernos para la extracción y purificación de compuestos químicos.

Para comprender mejor las diferentes alternativas, las vías de aprovechamiento se dividieron en tres grupos: uso directo después de una transformación física o química mínima; biotransformación en otros productos; materia prima para la extracción de compuestos de interés nutricional, funcional o tecnológico.

En las siguientes secciones se detallan las estrategias de valorización que incluyen cada una de las vías de aprovechamiento.

4.5.1 Aplicación directa después de una transformación física o química mínima

Una de las formas más antiguas de valorizar la cáscara de la mazorca es su uso directo como fuente de energía, especialmente en las zonas rurales. Por ejemplo, un estudio realizado por Syamsiro *et al.* (2012) estimó que la combustión directa de 1 kg de cáscara de la mazorca podría proporcionar un poder calorífico de 17.0 MJ / kg.

Otra alternativa tradicional que se le atribuye a la cáscara de la mazorca es su uso en la alimentación animal. Se reportó que la cáscara de la mazorca puede emplearse para la producción de piensos para rumiantes. Sin embargo, su alto contenido de teobromina identificado como un antinutriente en rumiantes, hace que el consumo de subproductos obtenidos de la cáscara de la mazorca, tal como la harina, presenten efectos adversos en la supervivencia del ganado. Oduro-Mensah *et al.* (2020) demostraron en su estudio la posibilidad de incorporar hasta un 30% de harina de cáscara de la mazorca en formulaciones de alimentos para

animales, sin representar una amenaza para su salud. Sin embargo, estos porcentajes podrían aumentar si las harinas son sometidas previamente a la extracción de teobromina.

En cuanto a las alternativas de uso de la cáscara de mazorca para aplicaciones en la industria de alimentos, una posibilidad es transformarla en harina. El estudio de Jaimes et al. (2017) evaluó las diferencias entre la harina obtenida a partir del secado y molido de la cáscara de mazorca de la variedad CCN-51 con la harina de trigo. Observaron que, al tratar la cáscara de la mazorca en un secador de bandeja, las propiedades de la harina excedieron los requisitos establecidos por la Norma Técnica Colombiana para la harina de trigo. Del mismo modo, esta harina también puede ser empleada como base para preparar bebidas fermentadas. Goyes (2000) informó que la fermentación de una mezcla al 50% de harina de cáscara de la mazorca y harina de salvado de arroz con *Lactobacillus casei* y *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Bulgaricus*, da como resultado una bebida fermentada con alto grado de aceptación por parte de los consumidores.

4.5.2 Bioconversión en otros productos con mayor valor añadido

La segunda vía de valorización consiste en convertir la cáscara de la mazorca en productos con mayor valor añadido, empleando procesos o agentes biológicos, como microorganismos o enzimas específicas. Esta estrategia forma parte de la nueva tendencia de la bioeconomía y tiene como propósito establecer modelos de desarrollo sostenible para dar respuesta a muchos de los ODS contemplados en la Agenda de Desarrollo de 2030, promoviendo el aprovechamiento de los desperdicios generados en el sistema productivo del cacao. Generando un crecimiento económico inclusivo y al mismo tiempo garantizando la conservación de los recursos naturales y el medio ambiente.

Para la bioconversión de la cáscara de la mazorca, existe la alternativa de producir etanol a partir de la fracción celulósica. Para esta estrategia de valorización, Thomsen *et al.* (2015)

recomendaron la aplicación de un pretratamiento hidrotermal, seguido de la fermentación con levadura *Saccharomyces cerevisiae*. Conviene recordar que los estudios realizados por Salim (2013); Owolu & Oyeyemi (2015); Rezanía & Mohamad (2020) también han informado de procesos similares con algunas variaciones.

A pesar del buen rendimiento de la cáscara de la mazorca para obtener etanol, se vienen realizando diversos estudios basados en nuevas tecnologías con el objetivo de mejorar la técnica empleada. Prueba de ello, Maleka (2016) en su investigación determinó que la fermentación anaeróbica y la carbonización hidrotermal son las tecnologías más efectivas. Por otro lado, Antwi et al. (2019) estudiaron la aplicación de tratamientos para la producción de biogás mediante la digestión anaeróbica, y determinaron que la cáscara de la mazorca sin tratar presenta un gran potencial para la producción de biogás de 357 l(N) / kgSV con un contenido de metano al 55%. Sin embargo, con la ayuda de un pretratamiento hidrotermal, la producción de biogás en condiciones óptimas (150 °C en 15min) podría llegar a 526,38 l(N) / kgSV. Asimismo, Mora-Cortés et al. (2020) informaron que la codigestión de lodos de depuradora con cáscara de la mazorca de cacao podría producir hasta 555,7 l(CH₄) / kgSV.

En cuanto a la bioconversión con el fin de mejorar el valor nutricional de la cáscara de la mazorca, Alemawor et al. (2009) propusieron fermentar la cáscara de mazorca con *Pleurotus ostreatus*. Los resultados mostraron que este proceso aumentó el contenido de proteína cruda y el contenido total de carbohidratos solubles presentes en la cáscara de la mazorca en un 36%.

Finalmente, con la determinación de proponer innovadoras vías de valorización, se reporta lo propuesto por Rahman et al. (2021), quienes emplearon larvas de moscas para mejorar la conversión de la cáscara de la mazorca en una fuente de proteína para alimento de animales. Sin embargo, se observó que su composición presenta una cantidad sustancial de lignina y bajo contenido de proteínas, que son

inconvenientes pero que pueden superarse implementando nuevas técnicas de bioconversión.

En otro orden de cosas, existen algunas otras metodologías para la biotransformación de la cáscara de mazorca con microorganismos y se destaca la posibilidad de obtener goma xantana utilizando *Xanthomonas campestris* (Diniz et al., 2012) y fructosiltransferasas empleando *Rhizopus stolonifer* (Lateef et al., 2008).

4.5.3 Recuperación de compuestos químicos

La tercera vía de aprovechamiento identificada es la extracción de compuestos químicos, los cuales se caracterizan por su potencial valor nutricional, funcional y tecnológico. La extracción de estos compuestos se puede realizar mediante diversas técnicas, desde las más convencionales hasta las más modernas. En general, todas se basan en procesos de tres pasos. Empezando por la aplicación de pretratamientos que favorezcan la desintegración de la materia celular, seguido de la liberación del compuesto mediante el uso de diferentes tipos de solventes. Y finalmente, el uso de operaciones de extracción, purificación y secado.

Cabe señalar que estas técnicas no son específicas para la extracción de compuestos químicos de la cáscara de la mazorca. En otras palabras, para obtener los mejores rendimientos la técnica empleada se debe adaptar a las peculiaridades de la matriz alimentaria. Incluso cuando se sabe que se puede emplear una técnica para extraer un componente químico en particular de cualquier otro residuo vegetal, las condiciones de extracción para la cáscara de la mazorca deben optimizarse para obtener la mayor cantidad, calidad y pureza del componente químico a extraer.

Con el fin de fomentar el interés por la recuperación de los componentes químicos más representativos de la cáscara de la mazorca, a continuación, se presentan las últimas tendencias para su extracción.

4.5.3.1 Recuperación de la fracción lipídica

El contenido lipídico en la cáscara de la mazorca puede alcanzar valores del 2%. Análogamente, para recuperar dichas fracciones oleosas de matrices vegetales y dependiendo de las características del material, existen tres posibilidades tradicionales: mediante prensado mecánico, disolventes orgánicos y la combinación de ambos. Entre los disolventes orgánicos, el hexano es el más utilizado para extraer la grasa de la cáscara de la mazorca debido a su alta capacidad de extracción de aceite y su excelente estabilidad. Sin embargo, este solvente es inflamable y puede causar graves problemas para la salud, representando una amenaza de contaminación cuando no se recupera adecuadamente.

Por ello, recientemente se viene evaluando nuevas “tecnologías verdes” empleadas para la recuperación de compuestos químicos. Una de ellas es la extracción con líquidos presurizados (PLE). Este método se basa en el uso de disolventes orgánicos convencionales a altas temperaturas y presiones. En estas condiciones, el punto de ebullición de los disolventes aumenta. Mientras las temperaturas son más altas, el poder de solvatación y la velocidad de difusión aumenta y la viscosidad disminuye. Esta tecnología permite el desarrollo de una extracción más eficiente, reduciendo el tiempo empleado y mejorando el rendimiento de la sustancia extraída (Alvarez-Rivera et al., 2020).

Con el mismo propósito, González-Alejo et al. (2019) propusieron aplicar la extracción con fluidos supercríticos (SFE). Esta técnica se basa en solventes químicamente inertes en la etapa supercrítica (por encima de la temperatura y presiones críticas). En estas condiciones, los fluidos presentan las peculiaridades de gas y líquido y pueden aumentar la solubilidad de los compuestos. De todos los distintos disolventes, el dióxido de carbono es el más aceptado por su baja temperatura crítica (TC = 31°C) y presión (PC = 74 bar) y su alta solubilidad, no toxicidad y características ecológicas.

4.5.3.2 Recuperación de diferentes fracciones de fibra

Convencionalmente, la pectina se extrae empleando ácidos minerales fuertes (sulfúrico, nítrico y clorhídrico) a altas temperaturas durante largos períodos de tiempo (Adetunji *et al.*, 2017; Marić *et al.*, 2018). Este proceso implica la degradación de la pectina y expone a la cáscara de mazorca con contaminantes peligrosos, siendo necesario eliminar estos elementos tóxicos presentes en los extractos mediante tratamientos especiales (Minjares-Fuentes *et al.*, 2014).

Una manera alternativa fue propuesta por Vriesmann *et al.* (2011), quienes propusieron el uso de extracción líquido-líquido en baños calefactores con circulación (Fisatom 557) a 50 °C y 100 °C, así como el uso de un mezclador mecánico a 250 rpm. Para la purificación de los compuestos extraídos, se lavaron 3 veces con etanol y se secaron al vacío. Cabe destacar que, aunque las pectinas extraídas no presentaron la misma estructura química que las pectinas comerciales de cítricos y plantas, sus propiedades pueden mejorarse mediante la aplicación de tratamientos químicos.

Según Muñoz-Almagro *et al.* (2019), la extracción de pectina de la cáscara de la mazorca se puede realizar utilizando ácidos más débiles con un nivel de pH entre 3 y 6 (como el ácido cítrico) y mediante la técnica de extracción con agua subcrítica (SWE). Esta técnica es una tecnología relativamente nueva que permite la extracción de compuestos polares menores empleando solo agua durante tiempos de extracción cortos (30 min aprox.). Básicamente la técnica se basa en emplear agua como único disolvente de extracción a altas temperaturas (100 °C y 374 °C) y una presión lo suficientemente alta para mantener el agua en estado líquido. El agua a una temperatura más alta tiene una constante dieléctrica más baja, debilita los enlaces de hidrógeno y hace que el agua subcrítica sea similar a los disolventes orgánicos menos polares, como el metanol y el etanol (Ko *et al.*, 2020).

El estudio de Muñoz-Almagro et al. (2019) destacó que las condiciones de SWE permiten obtener mayores rendimientos de pectina extraída (10,9%) en un tiempo 3 veces menor que el requerido por técnicas de extracción convencionales (es decir, extracción ácida a 95 °C durante 95 min) (8%). También se identificó una mayor efectividad en la recuperación de pectina de mayor peso molecular (750 kDa). El proceso se intensificó ante la disociación más significativa del agua y la alteración de otras propiedades fisicoquímicas en estado subcrítico. Para la estructura de la pectina, el ácido galacturónico y el grado de esterificación de metilo fueron similares (55% y 36%, respectivamente) para los métodos convencionales y SWE. En cuanto a su composición, la pectina extraída presentó un bajo contenido de compuestos interferentes, lo que no afectaría significativamente su estructura química.

Cambiando el enfoque de la técnica de extracción empleada, Hennessey-Ramos et al. (2021) propusieron la extracción de pectina empleando la enzima comercial Celluclast®, obteniendo rendimientos en cáscara de la mazorca de 10,20 g / 100 g. Asimismo, el método enzimático propuesto permite reducir tanto las temperaturas de extracción como la cantidad de ácido empleado, haciendo de esta técnica una alternativa de extracción sostenible. Sin embargo, es necesario realizar estudios complementarios para mejorar su pureza y color con el fin de optimizar su aplicación en la industria alimentaria y en otras industrias.

Para la celulosa identificada como un biopolímero compuesto, se puede extraer fácilmente mediante una sucesión de etapas de acondicionamiento, extracción y secado. Según Akinjokun et al. (2021), el tratamiento consiste en lavar la cáscara de la mazorca con agua destilada y secarla en un horno a 80°C durante 24 h, con la finalidad de facilitar el tratamiento de molienda. Una vez obtenido un polvo fino, se debe desparafinar con una combinación de disolventes, como etanol y tolueno (1: 2), durante 6 horas a altas temperaturas. Luego, la materia obtenida debe lavarse con etanol y secarse. Una vez acondicionada la muestra, el tratamiento de extracción consiste en tratar el material fibroso con

una solución de NaOH al 4% (p / v) a 80 °C durante 2 h, seguido de un blanqueo con una solución de NaOCl₂ al 1,7% a 80 °C durante un tiempo aproximado de 4 h. Finalmente, la fibra de celulosa debe secarse en un horno a 60 °C durante 24 h. Este proceso permite obtener celulosa con excelentes características fisicoquímicas. Conviene especificar que la celulosa extraída puede ser utilizada en la producción de materiales altamente cristalinos, como los nanocristales de celulosa.

Para la extracción de fracciones de lignina presentes en la cáscara de la mazorca, Sakagami et al. (2008) propusieron la reacción química: hidrólisis en un medio básico, seguida de la recuperación por centrifugación. Para ello, las fracciones de lignina se liberaron de los otros componentes de la matriz mediante la extracción con NaOH al 1% a temperatura ambiente durante 2 h. Luego, los componentes insolubles se recuperaron mediante centrifugación a 8000 x g y 4 °C durante 10 min. El estudio indicó que esta recuperación fue mayor cuando se ajustó el pH a 5 mediante la adición de ácido acético, lo que provocó la precipitación de la fracción lignocelulósica. Posteriormente, se añadió etanol a concentraciones del 50% y 83% para purificar el complejo extraído. Por último, para trabajar con la fracción purificada de forma sólida, se liofilizaron todas las fracciones obtenidas.

Más recientemente, siguiendo el principio de hidrólisis en un medio básico, Muharja et al. (2021) propusieron un método más nuevo: extracción asistida por microondas (MAE). Al aplicar el tratamiento MAE, los autores concluyeron que además de extraer lignina, la aplicación de microondas favorece a la extracción tanto de celulosa como de hemicelulosa. Este proceso se llevó a cabo mezclando 5 g de cáscara de la mazorca en una solución de NaOH al 3%. Luego, la mezcla se calentó para permitir la extracción de los compuestos lignocelulósicos. Merece la pena subrayar, que el estudio mostró que, al aumentar el tamaño de las partículas de polvo de la cáscara de la mazorca utilizada durante el proceso de extracción, los contenidos de lignina y celulosa disminuyeron, mientras que la cantidad de hemicelulosa extraída aumentó.

4.5.3.3 Recuperación de metabolitos secundarios

Uno de los métodos más simples para extraer polifenoles de la cáscara de la mazorca es el informado por Rossin *et al.* (2019). Este método consiste en realizar una molienda hasta obtener un polvo con tamaño de partícula de 250 μm . Posteriormente, el polvo se mezcla con etanol / agua y se agita a 25°C durante 1 h. El etanol se evapora al vacío a 40 °C en un evaporador rotatorio y luego el agua se elimina por liofilización. Las alternativas tecnológicas más complejas emplean PLE, SFE, MAE o SWE con extracción de grasa o fibra.

Okiyama *et al.* (2019) estudiaron el desarrollo de la tecnología PLE con los mismos parámetros que se utilizaron para extraer la fracción lipídica informada en un estudio anterior. Su tratamiento permitió monitorear los compuestos catequina, epicatequina, procianidina, cafeína, teobromina y flavonoides, y también determinaron que el aumento de temperatura redujo el tiempo de extracción, aumentando los rendimientos de los compuestos químicos más representativos.

Valadez-Carmona *et al.* (2018) abordaron la recuperación de compuestos fenólicos a partir de la cáscara de la mazorca tratado con SFE y dióxido de carbono en presencia de un disolvente (etanol). Este estudio identificó que el porcentaje de etanol era el principal factor que afectaba el rendimiento de la extracción.

Otra alternativa para la extracción de compuestos fenólicos, saponinas y alcaloides consiste en la aplicación de MAE. Para que esta extracción sea lo óptima posible, es necesario controlar la potencia del microondas, el tiempo de irradiación, la proporción de disolvente a muestra y el tiempo de extracción. Un claro ejemplo es el estudio realizado por Nguyen *et al.* (2021), quienes determinaron que el extracto más antioxidante (141,18 mg de DPPH / g de muestra seca) se obtuvo cuando se empleó las siguientes condiciones: una potencia de microondas de 600 W, un tiempo de irradiación de 5 s / min, un tiempo de extracción de 30 minutos y 50 mL / g de solvente con respecto a la cantidad

total de muestra. Estos hallazgos revelaron el uso potencial de MAE para recuperar los fitoquímicos presentes en la cáscara de la mazorca y su viabilidad para emplearlo en el desarrollo de alimentos funcionales.

Otra alternativa a las anteriores que vale la pena mencionar es el uso de solventes eutécticos profundos (DES). Esta técnica se basa en emplear diferentes componentes asociados al enlace de hidrógeno que actúan como disolvente. La característica principal del DES es que su punto de fusión es más bajo que el de los componentes individuales (<100 °C). Ofrecen muchas ventajas, como bajo precio, inercia química con agua y fácil preparación. Algunos están integrados en componentes de origen natural, son biodegradables y presentan una toxicidad muy baja. Tradicionalmente, los disolventes eutécticos (DES) se han preparado a partir de sales a base de amonio o fosfonio y una variedad de donantes de enlaces de hidrógeno, como ácidos orgánicos, urea, amida y aminas (Abbott, Barron, Ryder & Wilson, 2007). Hoy en día, los más populares son la urea, el etilenglicol, el glicerol y varios otros compuestos como alcoholes, aminoácidos, ácidos carboxílicos y azúcares (Ruesgas-Ramón et al., 2017). Ruesgas-Ramón et al. (2020) llevaron a cabo la extracción de compuestos fenólicos de los residuos del cacao, incluyendo a la cáscara de la mazorca. El desarrollo de su estudio concluyó que la extracción a base de cloruro de colina y ácido láctico son las condiciones de tratamiento más adecuadas para la recuperación de los compuestos fenólicos. El DES también favoreció a la formación del compuesto químico furfural, un aldehído derivado de varios subproductos agrícolas que ofrecen varios usos a nivel industrial: como precursor químico, extracción por solventes, para preparar adhesivos, entre otros.

Otra tecnología nueva, ecológica y segura que se puede aplicar para extraer flavonoides de la cáscara de la mazorca son las extracciones asistidas por ultrasonidos (EAU). Esta tecnología se basa en el uso de ondas sonoras que van desde los 20 kHz hasta los 10 MHz. La propagación de ondas ultrasónicas a través de medios líquidos da como resultado un efecto de cavitación que conduce a la formación de muchas microburbujas que se expanden y finalmente colapsan.

La implosión de estas cavidades genera puntos calientes localizados y caracterizados por altas temperaturas (5000 K) y presión (2000 atm), que aumentan durante la transferencia de masa / mezcla y también por la difusión de moléculas diana de la matriz al solvente (Mariatti et al., 2021). Con este enfoque, Yusof et al. (2019) extrajeron diferentes compuestos flavonoides (es decir, epicatequina, procianidina B2, entre otros.) de la cáscara de la semilla de cacao. Tras un estudio de optimización por la metodología de superficie de respuesta, los autores concluyeron que el rendimiento máximo de contenido total de flavonoides (7,47 mg equivalentes de rutina / g peso seco) se obtuvo con etanol al 80% como disolvente y a una temperatura de 55°C.

Finalmente, el uso de técnicas basadas en disrupción o campo eléctricos como herramientas de pretratamiento puede jugar un papel importante en la obtención de rendimientos de otros procesos de extracción, dada su capacidad para romper la pared celular vegetal y, en consecuencia, mejorar la extracción del proceso (Mariatti et al., 2021). Ejemplos de estas técnicas para valorar el contenido fenólico de la biomasa residual del cacao, incluyen por un lado el uso de un campo eléctrico pulsado (PEF) sobre la extracción de flavonoides y taninos condensados de la cáscara de la semilla (Barbosa-Pereira et al., 2018). El PEF es un pretratamiento no térmico novedoso basado en la aplicación de un pulso de campo eléctrico (de 100 a 1000 V / cm a 20–80 kV / cm) durante un tiempo muy corto. Después de su aplicación, las células se dañan y se crea la electroporación. Así, se favorece la liberación de moléculas intracelulares. Otra posibilidad reportada implica el uso de descarga eléctrica de alto voltaje (HVED) para ayudar a la extracción de catequina, epicatequina y ácido gálico de los residuos del cacao (Jokić et al., 2019). En este caso, la rotura del tejido celular ocurre después de la liberación directa de energía a través de dos electrodos sumergidos en líquido, generalmente agua.

Cualquiera que sea la técnica de extracción, los cambios de temperatura, la exposición de los extractos a la luz y al oxígeno, etc, pueden provocar la degradación de los compuestos fenólicos. Para prolongar la vida útil y preservar las propiedades antioxidantes de estos extractos, Tran (2021) propuso su microencapsulación con

maltodextrina y ácido gálico (8: 2 p / p). En estas condiciones, se pueden obtener extractos con bajo contenido de humedad y actividad acuosa, alta solubilidad y capacidad de retención de compuestos fenólicos, saponina y potencial actividad antioxidante.

Para resumir, el incremento de la demanda de recursos a nivel global en las últimas décadas debido entre otros motivos al crecimiento de la población y de las economías emergentes, provocó una notable aceleración en el planteamiento de perspectivas orientadas al aprovechamiento de los residuos orgánicos. Para el caso de los sistemas productivos del cacao, promover la sostenibilidad a lo largo de su cadena de valor mediante la asistencia técnica e intercambio de conocimientos entre la ciencia, productores e industria resulta imprescindible para dar un cambio en el modo de utilizar la materia prima y, en consecuencia, dar respuesta a muchos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Si bien todas las estrategias descritas están en el marco de la sostenibilidad y permiten la obtención de subproductos a partir de la cáscara de mazorca. Es oportuno precisar que aún existe la necesidad de articular su gestión en torno al desarrollo de subproductos con mayor valor agregado tanto a nivel de laboratorio como industrial. No existe información que contemple la factibilidad de esta perspectiva. Además, conviene especificar que los reportes de las estrategias mencionadas son a escala de laboratorio, su ejecución a nivel industrial aún está en proceso de estudio.

Finalmente, en sintonía con el objetivo de la investigación y con el propósito de estimular su implementación a nivel industrial, en la Figura 6 se plantea de manera sistemática sus principales categorías industriales.

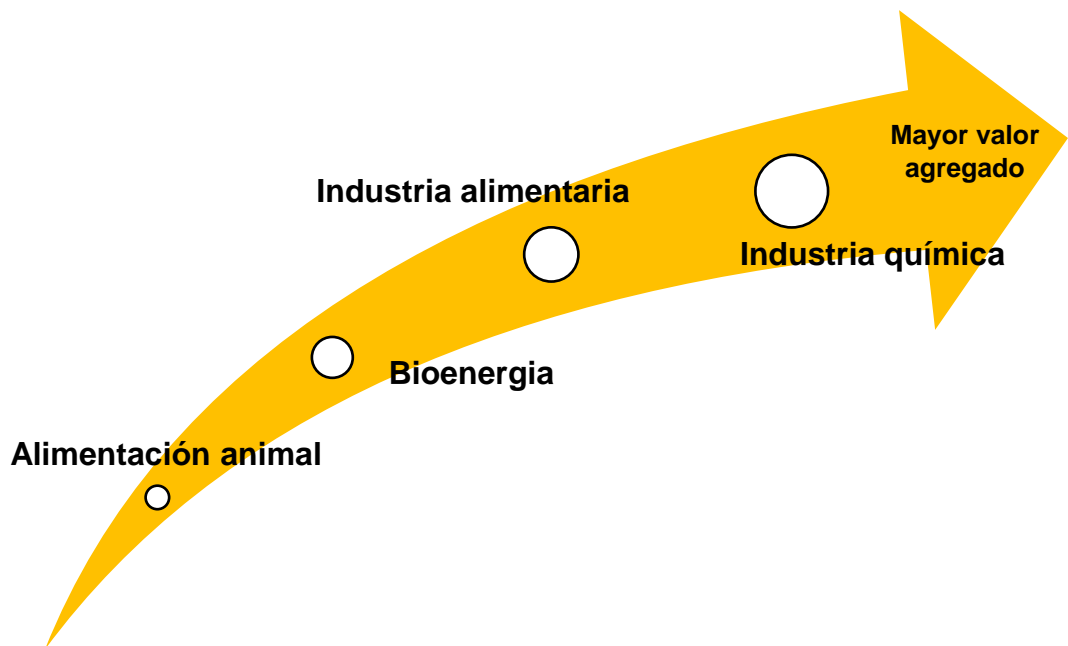


Figura 6. Categorías industriales para su implementación

Elaborado por: el autor

4.6 Viabilidad

Tal y como consta, la disociación entre el desarrollo socioeconómico y el aprovechamiento de residuos orgánicos es desde hace años un factor clave para la transición hacia un modelo de desarrollo sostenible.

En tal sentido, la aplicación de estrategias de valorización para la cáscara de la mazorca otorga la oportunidad de transformar el actual modelo productivo del cacao hacia un modelo que vuelva a reconectar la economía, la sociedad y el medio ambiente. Por tanto, toda la información documentada en el presente trabajo recopila el fundamento técnico - científico que supone la base para su incorporación a la cadena de valor del cacao. Sin embargo, la implementación de un nuevo modelo también depende de su potencial en el ámbito de su aplicación.

En base a este punto de vista, a continuación, se profundizó el estudio mediante un diagnóstico multidimensional que

otorgue referencias consistentes para la toma de decisiones que propicien el aprovechamiento de la cáscara de la mazorca.

Se destaca que el objetivo de este análisis está enfocado en el ámbito nacional. Sin embargo, puede ser tomado como referencia para estudios en otros países productores que cuenten con similares grados de desarrollo.

En efecto, para la determinación de la vía de aprovechamiento más conveniente, primero se procedió a diagnosticar el potencial del nuevo modelo de desarrollo sostenible propuesto en el presente trabajo de investigación desde los siguientes criterios: técnico, económico y social-ambiental. Luego se identificó los criterios con mayor importancia. Y finalmente, se determinó cuál es la vía más adecuada al contexto nacional.

Potencial de cada uno de los criterios propuestos:

4.6.1 Técnico

- A. En los últimos años la producción nacional de cacao y en consecuencia la generación de cáscara de la mazorca se incrementó, y a pesar de las oscilaciones, su productividad permaneció constante.
- B. El MIDAGRI viene realizando distintas acciones en apoyo a los productores de cacao, implementando centros de transferencia agrarios y capacitaciones para el personal que contribuyan con la formación de tecnologías sostenibles (MIDAGRI, 2021).
- C. Se promovió la creación del Grupo Multisectorial Temporal de Trabajo para elaborar el Plan Nacional de la Cadena de Valor de Cacao y Chocolate 2020-2030, mediante la R.M. N.º 212-2020-MINAGRI, con el objetivo de impulsar la sostenibilidad económica de la cadena de cacao.
- D. No se cuenta con un diagnóstico técnico, económico y ambiental que determine su factibilidad a nivel industrial.

4.6.2 Económico

- A. A la fecha la cáscara de la mazorca no tiene un valor económico reconocido en el mercado. Todo dependerá de la demanda, sin embargo, mientras esta situación continúe y sumado a los grandes volúmenes acumulados representa una alternativa a considerar debido a su potencial tecnológico.
- B. El Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el MIDAGRI, a través de Agroideas, vienen fomentando la difusión de planes de negocio para los productores de cacao en el marco de la sostenibilidad (MIDAGRI, 2021).
- C. Frente a las constantes fluctuaciones del precio de las habas de cacao, el aprovechamiento de la cáscara de la mazorca es una fuente de ingresos adicionales para las familias productoras (población vulnerable), mejorando los indicadores socioeconómicos y su calidad de vida.

4.6.3 Social-ambiental

- A. Conocer las alternativas posibles para la valorización de la cáscara de la mazorca contribuirá a la mejora de los indicadores sociales y ambientales.
- B. Se valorará de manera más eficiente los recursos naturales como elemento clave para el desarrollo sostenible.

Habiéndose evaluado el potencial de cada uno de los criterios y con la determinación de identificar cuál es la vía de aprovechamiento más conveniente para la cáscara de la mazorca de cacao, se diseñó un Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP).

Por lo que se refiere al AHP, es un método de ayuda a la toma de decisiones que otorga ante un conjunto de alternativas posibles llegar a una priorización de las mismas, utilizando la comparación por pares entre elementos mediante una escala fundamental diseñada a tal efecto (Tabla 7) (Saaty, 1980).

En la Figura 7 se grafica el árbol jerárquico de decisión que se tomó para determinar la vía de aprovechamiento más conveniente.

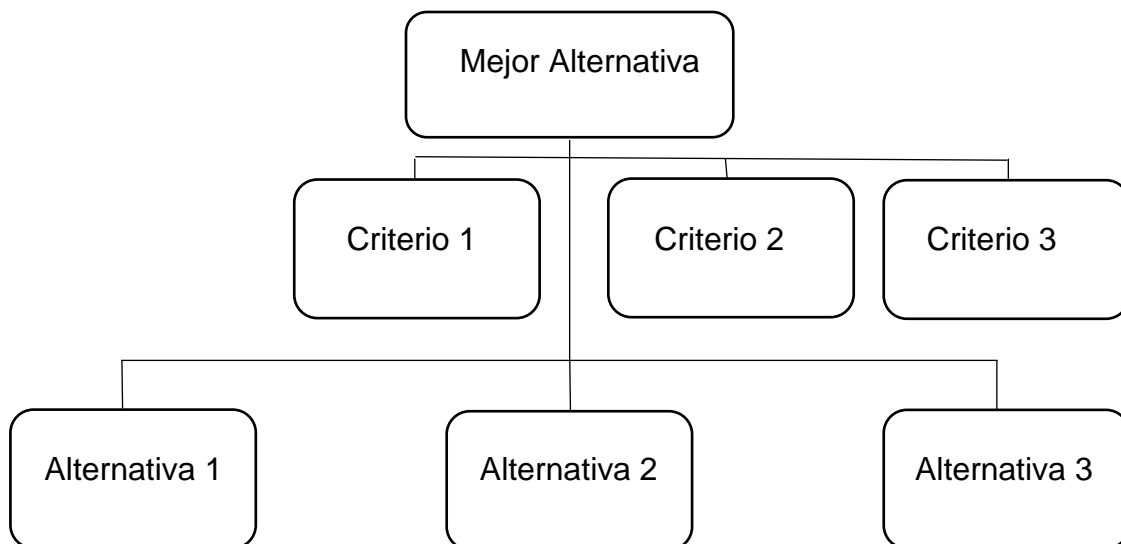


Figura 7. Árbol Jerárquico
Elaborado por: el autor

Donde:

- Alternativa 1: Uso directo después de una transformación física o química mínima
- Alternativa 2: Biotransformación en otros productos
- Alternativa 3: Extracción química

Tabla 7. Escala fundamental de comparaciones pareadas

Escala numérica	Escala verbal	Explicación
1	Igual importancia	Los dos elementos contribuyen igualmente a la propiedad o criterio
3	Moderadamente más importante un elemento que el otro	El juicio y la experiencia previa favorecen a un elemento frente al otro
5	Fuertemente más importante un elemento que en otro	El juicio y la experiencia previa favorecen fuertemente a un elemento frente al otro
7	Mucho más fuerte la importancia de un elemento que la del otro	Un elemento domina fuertemente. Su dominación está probada en práctica
9	Importancia extrema de un elemento frente al otro	Un elemento domina al otro con el mayor orden de magnitud posible

Nota: los valores 2, 4, 6 y 8 pueden emplearse para expresar situaciones intermedias.

Fuente: Saaty (1980)

A continuación, se procedió a determinar la importancia o ponderación para cada criterio en materia de sostenibilidad.

	Técnico Criterio 1	Económica Criterio 2	Social-Ambiental Criterio 3	Vector Propio
Técnico Criterio 1	1	5	1	0,4545
Económico Criterio 2	1/5	1	1/5	0,0909
Social-Ambiental Criterio 3	1	5	1	0,4545

Figura 8. Matriz 3x3 - Ponderación de criterios
Elaborado por: el autor

La ponderación de criterios indicó que los tres criterios son importantes y que la matriz es consistente, ratio de consistencia (CR) 0%. Además, el criterio 1 y 3 tienen la misma importancia y están muy por encima del criterio 2. Siguiendo con el análisis y habiéndose ponderado los criterios, se procedió a realizar la comparación de las alternativas con respecto a cada criterio.

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Vector Propio
Alternativa 1	1	1/5	1/7	0,0751
Alternativa 2	5	1	1/2	0,0332
Alternativa 3	7	2	1	0,5917

Figura 9. Matriz 3x3 – En función del criterio técnico. CR: 1,36%
Elaborado por: el autor

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Vector Propio
Alternativa 1	1	1/8	1/9	0,0556

Alternativa 2	8	1	1	0,4629
Alternativa 3	9	1	1	0,4814

Figura 10. Matriz 3x3 – En función del criterio económico. CR: 0,15%
Elaborado por: el autor

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Vector Propio
Alternativa 1	1	1/7	1/8	0,0626
Alternativa 2	7	1	1	0,4583
Alternativa 3	8	1	1	0,4791

Figura 11. Matriz 3x3 – En función del criterio social-ambiental. CR: 0,19%
Elaborado por: el autor

A partir de las tres comparaciones para las alternativas en función de cada uno de los criterios se obtuvo que todas son consistentes; la alternativa tres fue la que obtuvo mayor ponderación (ver Figura 9,10 y 11).

Para la toma de decisión final, se procedió a multiplicar las matrices obtenidas tanto de comparación de alternativas para cada criterio y ponderación de criterios.

$$\begin{array}{l}
 \text{Alternativa 1} \\
 \text{Alternativa 2} \\
 \text{Alternativa 3}
 \end{array}
 \begin{pmatrix}
 0,0751 & 0,0556 & 0,0626 \\
 0,0332 & 0,4629 & 0,4583 \\
 0,5917 & 0,4814 & 0,4791
 \end{pmatrix}
 *
 \begin{pmatrix}
 0,4545 \\
 0,0909 \\
 0,4545
 \end{pmatrix}
 =
 \begin{pmatrix}
 0,1178 \\
 0,3193 \\
 0,5629
 \end{pmatrix}$$

En concreto, la estrategia de aprovechamiento más conveniente es la alternativa 3 (Extracción química) con una ponderación del 56,29%. Claros ejemplos que incluye esta vía son la recuperación de los compuestos con mayor valor, tales como la fracción lipídica, fibra y compuestos fenólicos. En la actualidad, su ámbito de implementación es a pequeña escala y las técnicas empleadas vienen optimizándose para obtener la mayor cantidad, calidad y pureza del componente químico a extraer.

Respecto a su sostenibilidad en el marco de las estrategias Prácticas Más Limpias (PML) y la bioeconomía. Se plantea lo siguiente:

1) Existen estrategias que pueden otorgar subproductos con mayor valor agregado y en consecuencia mejores rentabilidades. Sin embargo, la falta de procesos optimizados pone en desventaja su desarrollo.

2) La vía de valorización planteada atiende a los principios de las PML. No obstante, la amplitud de su aplicación está limitada exclusivamente a los procesos de producción, abordando la reducción de desechos y emisiones tóxicas. No se cuenta con información suficiente para ahondar en su eficiencia global (Análisis de Ciclo de Vida).

3) Desde el enfoque de la bioeconomía, la alternativa propuesta alcanza la transición ecológica, combinando la gestión sostenible de los recursos naturales con nuevas soluciones a partir de nuevas tecnologías. En la investigación se proponen tres líneas de recuperación (fracción lipídica, materiales fibrosos y compuestos fenólicos).

Para terminar, abordando los problemas más urgentes a los que hoy se enfrenta el mundo. El presente trabajo de investigación se encuentra alineado con los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS) marcados por la Agenda 2030 de las Naciones Unidas. Principalmente contribuye a los ODS que se indican a continuación:

- ODS 2. Hambre cero. El propósito de la investigación contribuye a las metas 2.3 (...lograr una productividad agrícola más eficiente, generando ingresos adicionales para los pequeños agricultores...) y 2.4 (...asegurar la sostenibilidad de los sistemas de producción de alimentos...). Uno de los objetivos del presente trabajo es establecer estrategias de valorización para la cáscara de la mazorca de cacao en los distintos niveles y categorías industriales como nuevo modelo de desarrollo sostenible.
- ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico. La propuesta de la investigación realizada contribuye a la meta 8.5 (...lograr el empleo pleno

y productivo ...), permitiendo mejorar los ingresos per cápita de los productores de cacao, la creación de nuevos puestos de trabajo y de crecimiento de la riqueza en la región. Así como también fomentar el emprendimiento e innovación.

- ODS 12. Producción y consumo responsables. Con el presente trabajo de investigación se pretende establecer las bases para el desarrollo de un enfoque ecosistémico orientado al aprovechamiento de la cáscara de la mazorca de cacao. Promoviendo su uso sostenible de forma justa y equitativa. En concreto, la propuesta del presente trabajo contribuirá a las metas 12.2 (...lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales...), 12.3 (...reducir las pérdidas de alimentos en las cadenas de producción y suministro, incluidas las pérdidas posteriores a la cosecha...) y 12.5 (...reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y revalorización).

Paralelamente, también se identificó que el proyecto está alineado de forma secundaria a los ODS siguientes:

- ODS 1. Fin de la pobreza. Este ODS pretende poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo. La propuesta de la presente investigación contribuirá con la meta 1.2 (para 2030, reducir al menos a la mitad la proporción de hombres, mujeres, niños y niñas de todas las edades que viven en la pobreza en todas sus dimensiones).
- ODS 17. Revitalizar la alianza mundial para el desarrollo sostenible. La investigación fomenta la transferencia de conocimientos entre la ciencia, los productores de cacao y la industria, fortaleciendo el trabajo colaborativo de organizaciones internacionales y locales.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

Como se observan los resultados, la cáscara de la mazorca de cacao está considerada como un residuo con potenciales características tecnológicas y comerciales que permiten su aplicación en distintos niveles y categorías industriales. Sin embargo, en la actualidad la falta de un manejo adecuado y el alto grado de contaminación que representa para el medio ambiente están generando graves problemas y limitaciones para la mejora de la industria del cacao a nivel nacional y mundial. Así lo precisa Acebo-Guerreo *et al.* (2012), quienes enfatizaron que el manejo incorrecto de la biomasa residual del cacao genera pérdidas en la producción anual entre el 20-30% en todo el mundo.

Respecto a su producción a nivel nacional se precisó que grandes volúmenes de cáscara de la mazorca han sido generados. Según el Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016-2024, del total de residuos sólidos, el 53,16% corresponden a materia orgánica. Aunque existe la necesidad de implementar una visión más incluyente y sustentable que permita el aprovechamiento integral del fruto del cacao, en la actualidad no existe un plan de actuación que reduzca esta problemática. De esta manera, este trabajo de investigación pretende sentar las bases de manera estructurada para valorizar la cáscara de la mazorca implementando estrategias de valorización que permitan promover una agricultura e industria sostenible y responsable.

Para la composición química de la cáscara de la mazorca, se aprecia que su matriz está constituida principalmente por fibra dietética y compuestos fenólicos. Este resultado parece particularmente interesante para la industria de alimentos. Sin duda, las investigaciones que viene desarrollando la academia por conocer más de sus características nutricionales deben asociarse al crecimiento de la demanda por productos con características sostenibles. Prueba de ello, se destaca el desarrollo de alimentos potenciados con fibra dietética obtenida a partir de la cáscara de la mazorca, ya que resulta una excelente alternativa para aquellos consumidores que lo requieran, su consumo brinda potenciales beneficios para la salud, como reducir la absorción de la glucosa en el sistema digestivo e incremento de los niveles de satisfacción después de comer (Quiles *et al.*, 2018).

Del mismo modo, para los polifenoles se reconoce que actualmente es un compuesto bioactivo que forma una parte esencial de la dieta humana. En efecto, su extracción a partir de la cáscara de la mazorca se viene estudiando con el fin de profundizar y optimizar los parámetros para la técnica a emplear. Los resultados documentados ratificaron que la cáscara de la mazorca es fuente de polifenoles con relevantes efectos beneficiosos para salud y que puede ser empleado tanto a nivel alimentario, farmacéutico y cosmético (De Filippis, 2015).

En cuanto al mercado global de sus principales componentes químicos, se confirma que la extracción química es la vía de aprovechamiento más factible a nivel técnico, económico y social-ambiental. Se destaca también que la tasa de variación se incrementará para los próximos años pudiendo ser mayores en función de su demanda, por lo tanto, empezar a valorar estas fracciones químicas resulta una excelente alternativa para la industria. Este resultado muestra similitudes con lo encontrado por Villamizar-Jaimes & López-Giraldo (2017) quienes sostienen que comercialmente es factible construir una planta para la extracción y comercialización de polifenoles y fibra total, registrando márgenes brutos de 68,84% y un retorno de la inversión de 22,16%, en un tiempo de recuperación de cinco años.

Para las estrategias de valorización documentadas, es importante destacar que la elección del enfoque empleado depende básicamente de las características de la cáscara de la mazorca y el producto que se desee obtener, así como de la disponibilidad de la tecnología necesaria para su aprovechamiento. Sin embargo, es importante destacar que nuestro país cuenta con la materia prima y el conocimiento para su implantación en la cadena de valor del cacao; por contrapartida, el equipamiento tecnológico para poner en marcha los métodos, procedimientos y fabricación de los productos finales requiere de una gestión más eficiente. En relación con lo comentado en el párrafo, Hurtado & Torre (2021) precisaron que la materia prima es abundante y de fácil acceso económico en el territorio nacional ya que no cuenta con una disposición de valor en el mercado industrial. Por tal motivo, se plantea que, si el costo de la materia prima no es elevado, puede compensarse y facilitar la adquisición de equipamientos tecnológicos.

A pesar de los interesantes resultados encontrados y con el propósito de su implementación a escala industrial a nivel nacional, se profundizó la investigación realizando un diagnóstico de la viabilidad de las estrategias a partir de la documentación existente respecto a los criterios técnicos, económicos y ambientales. No se encontró estudios similares; se determinó que la vía de aprovechamiento más viable a nivel nacional es la “extracción química”. Esto pone en evidencia la perspectiva que debe mantener la industria. En definitiva, la recuperación de sus componentes químicos más representativos (fibra y polifenoles) estimulan la diversificación para su uso a nivel industrial. Conviene especificar que en Colombia se obtuvieron resultados que muestran la factibilidad de construir una planta industrial para la extracción de polifenoles y fibra, su factibilidad técnica registrada fue 1200 Toneladas/año de residuos generados en el proceso de industrialización del cacao; para una operación continua de proceso que genera 74,30 toneladas año de polifenoles totales y 693,70 toneladas de fibra total; para el ámbito económico se mostró una tasa de retorno de la inversión del 22% calculada a partir del simulador SuperPro Designer® v.9.0 académica; y en cuanto a la tecnología empleada para la extracción, se precisó que se genera un impacto positivo a nivel ambiental por la reutilización de

solvente corriente S-115 con un (99%) acorde con la tendencia tecnológica de producción más limpia y desarrollo sostenible (Villamizar-Jaimes & López-Giraldo, 2017).

Finalmente, resulta interesante abordar en esta sección los alineamientos de las estrategias de valorización con las PML. Como se registra en el trabajo no existe una evaluación alineada únicamente al proceso de valorización de la cáscara de la mazorca. Sin embargo, Ramos-Ramos *et al.*, (2020) analizaron opciones de PML para la mejora del proceso de producción de cacao en pasta en cuanto al ahorro de electricidad, agua y gestión de residuos. Los resultados mostraron una viabilidad técnica favorable en base a los indicadores económicos y ambientales. Respecto al funcionamiento ambiental del proceso la implementación de las PML redujo el consumo de electricidad, agua y residuos generado con valores de 13,2%, 18% y 99,7%, respectivamente; este contexto pone en evidencia que pequeñas modificaciones pueden convertir a los procesos más ecoeficientes.

En este contexto, las distintas estrategias propuestas cumplen con los principios de la sostenibilidad. Sin embargo, existe un gran vacío en términos de factibilidad a nivel industrial, regulaciones legales y efectos ecológicos generados en los procesos que limitan la fabricación de productos con mayor valor añadido.

CONCLUSIONES

Las seis conclusiones siguientes versan sobre el estudio de las estrategias de valorización para la cáscara de la mazorca de cacao como nuevo modelo de desarrollo sostenible.

1. Los resultados del presente estudio ponen de manifiesto que la cáscara de la mazorca de cacao es fuente de diferentes moléculas con interesantes propiedades nutricionales y químicas.
2. Para lograr una gestión eficiente de la cáscara de la mazorca de cacao, se plantean tres vías para su aprovechamiento: uso directo después de una transformación física o química mínima; biotransformación en otros productos; materia prima para la extracción de compuestos de interés nutricional, funcional o tecnológico.
3. La valorización de la cáscara de la mazorca de cacao es una vía novedosa para la industria y que permite la obtención de novedosos productos, tales como: producción de piensos, materia prima como fuente de energía; en la industria de alimentos como harina e incluso como ingrediente para la elaboración de bebidas fermentadas; producción de etanol, biogás y una fuente de proteína para alimento de animales. Por otro lado, es importante destacar la extracción y recuperación de fitoquímicos, tales como principales compuestos bioactivos (polifenoles y materiales fibrosos).

4. El aprovechamiento de la cáscara de la mazorca de cacao puede llegar a convertirse en materia prima de interés para las siguientes categorías industriales: alimentación animal, bioenergía, industria alimentaria e industria química.
5. La vía de valorización para la cáscara de la mazorca de cacao más conveniente en términos tecnológicos y comerciales que se determinó en la presente investigación fue la extracción química.
6. En definitiva, la implementación de estrategias de valorización para el aprovechamiento de la cáscara de la mazorca de cacao ya no puede considerarse como una alternativa, sino una necesidad que permite garantizar un presente y un futuro responsable.

RECOMENDACIONES

Como resultado del estudio realizado se plantean las siguientes recomendaciones:

1. Orientar futuras investigaciones en la cuantificación de nuevas moléculas de interés en la cáscara de la mazorca, así como evaluar la estructura química de las distintas variedades.
2. Realizar estudios que confirmen la funcionalidad de las moléculas bioactivas más representativas en su composición.
3. Ahondar en un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) que permita el estudio integral del nuevo modelo de desarrollo sostenible, incluyendo impactos ambientales, sociales y económicos de los productos obtenidos a lo largo de todo el ciclo de vida de la cáscara de la mazorca.
4. Realizar un Analytic Hierarchy Process (AHP) con el objetivo de profundizar el análisis de las estrategias más convenientes. No existen estudios suficientes alineados al tema que incluyan este tipo de análisis.

Por lo tanto, estas cuestiones importantes deberían ser el foco de investigaciones futuras en esta área. Generando una mayor atención entre los principales miembros de la cadena de suministro del cacao y fomentando así su desarrollo a nivel agrícola e industrial.

FUENTES DE INFORMACIÓN

Bibliográficas

Aguirre Martínez, C. M. (2015). Extracción de Fibra Soluble a Partir de Cáscara de Cacao (*Theobroma Cacao L.*) y su Utilización en la Elaboración de Queso Fundido y Yogurt. Tesis de grado. Universidad Estatal Amazónica.

Goyes Tituaña, P. G. (2020). Desarrollo de una bebida a base de harina de cáscara de cacao (*Theobroma cacao L.*) y salvado de arroz (*Oryza sativa*) con doble fermentación. Tesis de grado. Universidad Técnica de Ambato. (Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología, Carrera de Ingeniería en Alimentos).

Gutiérrez Chávez, J. A. (2020). Estrategias para la valorización de la biomasa generada en la producción y transformación del cacao (*Theobroma cacao*). Tesis de maestría. Universidad Politécnica de Valencia.

Hurtado Antonio, P. G., & Torre Leon, T. F. (2021). Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta de producción de carbón activado a partir de cáscara de cacao. Tesis de grado. Universidad de Lima.

Johnson, J., Bonilla, J., & Agüero, L. (2008). Manual de manejo y producción del cacaotero. Leon, Nicaragua.

Larrea, J. (2012). Obtención de extractos polifenólicos a partir de uva para uso alimentario. Tesis de maestría. Universidad de Navarra.

Minifie, B. (2012). Chocolate, cocoa and confectionery: science and technology. Springer Science & Business Media.

Nair, K. P. (2010). The agronomy and economy of important tree crops of the developing world.

Saaty, T. The Analytic Hierarchy Process. RWS Publications, Pittsburgh, 1980.

Sebastián Nogués, F., García Galindo, D., & Rezeau, A. (Eds.). (2010). Energía de la biomasa II (Energías renovables) (Vol. 182). Universidad de Zaragoza.

Tomás Barberán, F. (2003). Los polifenoles de los alimentos y la salud.

Ugartondo Casadevall, V. (2009). Caracterización de derivados polifenólicos obtenidos de fuentes naturales. Citotoxicidad y capacidad antioxidante frente a estrés oxidativo en modelos celulares. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona.

Hemerográficas

Abbott, A. P., Barron, J. C., Ryder, K. S., & Wilson, D. (2007). Eutectic-based ionic liquids with metal-containing anions and cations. *Chemistry—A European Journal*, 13(22), 6495-6501.

Acebo-Guerrero, Y., Hernández-Rodríguez, A., Heydrich-Pérez, M., El Jaziri, M., & Hernández-Lauzardo, A. N. (2012). Management of black pod rot in cacao (*Theobroma cacao* L.): a review. *Fruits*, 67(1), 41-48.

Acosta, N., De Vrieze, J., Sandoval, V., Sinche, D., Wierinck, I., & Rabaey, K. (2018). Cocoa residues as viable biomass for renewable energy production through anaerobic digestion. *Bioresource technology*, 265, 568-572.

Adetunji, L. R., Adekunle, A., Orsat, V., & Raghavan, V. (2017). Advances in the pectin production process using novel extraction techniques: A review. *Food Hydrocolloids*, 62, 239-250.

Adi-Dako, O., Ofori-Kwakye, K., Manso, S. F., Boakye-Gyasi, M. E., Sasu, C., & Pobee, M. (2016). Physicochemical and antimicrobial properties of cocoa

- pod husk pectin intended as a versatile pharmaceutical excipient and nutraceutical. *Journal of pharmaceutics*, 2016.
- Akinjokun, A. I., Petrik, L. F., Ogunfowokan, A. O., Ajao, J., & Ojumu, T. V. (2021). Isolation and characterization of nanocrystalline cellulose from cocoa pod husk (CPH) biomass wastes. *Heliyon*, 7(4), e06680.
- Alemawor, F., Dzogbefia, V. P., Oddoye, E. O., & Oldham, J. H. (2009). Effect of *Pleurotus ostreatus* fermentation on cocoa pod husk composition: Influence of fermentation period and Mn²⁺ supplementation on the fermentation process. *African journal of biotechnology*, 8(9).
- Alvarez-Rivera, G., Bueno, M., Ballesteros-Vivas, D., Mendiola, J. A., & Ibañez, E. (2020). Pressurized liquid extraction. In *Liquid-Phase Extraction* (pp. 375-398). Elsevier.
- Antwi, E., Engler, N., Nelles, M., & Schüch, A. (2019). Anaerobic digestion and the effect of hydrothermal pretreatment on the biogas yield of cocoa pods residues. *Waste management*, 88, 131-140.
- Awolu, O., & Oyeyemi, S. O. (2015). Optimization of bioethanol production from cocoa (*Theobroma cacao*) bean shell. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, 4(4), 506-514.
- Ballesteros, W., Lagos, T. C., & Ferney, H. (2015). Morphological characterization of elite cacao trees (*Theobroma cacao* L.) in Tumaco, Nariño, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 9(2), 313-328.
- Barbosa-Pereira, L., Guglielmetti, A., & Zeppa, G. (2018). Pulsed electric field assisted extraction of bioactive compounds from cocoa bean shell and coffee silverskin. *Food and bioprocess technology*, 11(4), 818-835.
- Beg, M. S., Ahmad, S., Jan, K., & Bashir, K. (2017). Status, supply chain and processing of cocoa-A review. *Trends in food science & technology*, 66, 108-116.

- Bondia-Pons, I., Aura, A. M., Vuorela, S., Kolehmainen, M., Mykkänen, H., & Poutanen, K. (2009). Rye phenolics in nutrition and health. *Journal of cereal science*, 49(3), 323-336.
- Bonvehí, J. S., & Benería, M. A. (1998). Composition of dietary fibre in cocoa husk. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und-Forschung A*, 207(2), 105-109.
- Cádiz-Gurrea, M. D. L. L., Fernández-Ochoa, Á., Leyva-Jiménez, F. J., Guerrero-Muñoz, N., Villegas-Aguilar, M. D. C., Pimentel-Moral, S., ... & Segura-Carretero, A. (2020). LC-MS and Spectrophotometric Approaches for Evaluation of Bioactive Compounds from Peru Cocoa By-Products for Commercial Applications. *Molecules*, 25(14), 3177.
- Campos-Vega, R., Nieto-Figueroa, K. H., & Oomah, B. D. (2018). Cocoa (*Theobroma cacao* L.) pod husk: Renewable source of bioactive compounds. *Trends in Food Science & Technology*, 81, 172-184.
- Chamorro, R. A. M., & Mamani, E. C. (2010). Importancia de la fibra dietética, sus propiedades funcionales en la alimentación humana y en la industria alimentaria. *Revista de investigación en ciencia y tecnología de alimentos*, 1(1). Escudero Álvarez, E., & González Sánchez, P. (2006). La fibra dietética. *Nutrición hospitalaria*, 21, 61-72.
- Correia, R., Grace, M. H., Esposito, D., & Lila, M. A. (2017). Wild blueberry polyphenol-protein food ingredients produced by three drying methods: Comparative physico-chemical properties, phytochemical content, and stability during storage. *Food chemistry*, 235, 76-85.
- De Filippis, L. F. (2015). Plant secondary metabolites: From molecular biology to health products. *Plant-Environment Interaction: Responses and Approaches to Mitigate Stress*, 1 (1), 263–300.
- Della, V. P., Kühn, I., & Hotza, D. (2005). Reciclagem de resíduos agro-industriais: Cinza de casca de arroz como fonte alternativa de sílica. *Cerâmica Industrial*, 10(2), 22-25.

- Diniz, D. D. M., Druzian, J. I., & Audibert, S. (2012). Produção de goma xantana por cepas nativas de *Xanthomonas campestris* a partir de casca de cacau ou soro de leite. *Polímeros*, 22, 278-281.
- Frank, J., Fukagawa, N. K., Bilia, A. R., Johnson, E. J., Kwon, O., Prakash, V., ... & Williamson, G. (2020). Terms and nomenclature used for plant-derived components in nutrition and related research: efforts toward harmonization. *Nutrition reviews*, 78(6), 451-458.
- Galanakis, C. M. (2020). The food systems in the era of the coronavirus (COVID-19) pandemic crisis. *Foods*, 9(4), 523.
- Ginting, B., & Purnama, A. (2020). Chemical composition and cytotoxic activities of n-Hexane extract from cacao pod husk (*Theobroma cacao* L.). *Chemical Data Collections*, 30, 100553.
- González-Alejo, F. A., Barajas-Fernández, J., Olán-Acosta, M. D. L. Á., Lagunes-Gálvez, L. M., & García-Alamilla, P. (2019). Supercritical Fluid Extraction of Fat and Caffeine with Theobromine Retention in the Cocoa Shell. *Processes*, 7(6), 385.
- Grob, L., Ott, E., Schnell, S., & Windhab, E. J. (2021). Characterization of endocarp powder derived from cocoa pod. *Journal of Food Engineering*, 305, 110591.
- Hano, C., & Tungmunnithum, D. (2020). Plant Polyphenols, more than just simple natural antioxidants: oxidative stress, aging and age-related diseases.
- Hansen, C. L., & Cheong, D. Y. (2019). Agricultural waste management in food processing. In *Handbook of Farm, Dairy and Food Machinery Engineering* (pp. 673-716). Academic Press.
- Hennessey-Ramos, L., Murillo-Arango, W., Vasco-Correa, J., & Paz Astudillo, I. C. (2021). Enzymatic Extraction and Characterization of Pectin from Cocoa Pod Husks (*Theobroma cacao* L.) Using Celluclast® 1.5 L. *Molecules*, 26(5), 1473.

- Hidalgo, I., Ortiz, A., Sanchez-Pardo, M., Garduño-Siciliano, L., Hernández-Ortega, M., Villarreal, F., ... & Ceballos, G. M. (2019). Obesity and cardiovascular risk improvement using cacao by-products in a diet-induced obesity murine model. *Journal of medicinal food*, 22(6), 567-577.
- Insanu, M., Rizaldy, D., Silviani, V., & Fidrianny, I. (2021). Chemical Compounds and Pharmacological Activities of Cucumis genus.
- Jaimes, Y. L. V., Guerrero, J. S. R., & Castrillo, L. C. L. (2017). Caracterización fisicoquímica, microbiológica y funcional de harina de cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad CCN-51. *Cuaderno activa*, 9, 65-75.
- Jokić, S., Pavlović, N., Jozinović, A., Ačkar, Đ., Babić, J., & Šubarić, D. (2019). High-voltage electric discharge extraction of bioactive compounds from the cocoa bean shell. *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*, 33(2), 271-280.
- Ko, M. J., Nam, H. H., & Chung, M. S. (2020). Subcritical water extraction of bioactive compounds from *Orostachys japonicus* A. Berger (Crassulaceae). *Scientific Reports*, 10(1), 1-10.
- Lateef, A., Oloke, J. K., Kana, E. B. G., Oyeniya, S. O., Onifade, O. R., Oyeleye, A. O., & Oladosu, O. C. (2008). *Rhizopus stolonifer* LAU 07: a novel source of fructosyltransferase. *Chemical papers*, 62(6), 635-638.
- López Cuadra, Y. M., Cunias Rodríguez, M. Y., & Carrasco Vega, Y. L. (2020). El cacao peruano y su impacto en la economía nacional. *Revista Universidad y Sociedad*, 12(3), 344-352.
- Lu, F., Rodriguez-Garcia, J., Van Damme, I., Westwood, N. J., Shaw, L., Robinson, J. S., ... & Charalampopoulos, D. (2018). Valorisation strategies for cocoa pod husk and its fractions. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 14, 80-88.
- McCormick, K., & Kautto, N. (2013). The bioeconomy in Europe: An overview. *Sustainability*, 5(6), 2589-2608.
- Maleka, D. (2016). Assessment of the implementation of alternative process technologies for rural heat and power production from cocoa pod husks.

- Mariatti, F., Gunjević, V., Boffa, L., & Cravotto, G. (2021). Process intensification technologies for the recovery of valuable compounds from cocoa by-products. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 102601.
- Marić, M., Grassino, A. N., Zhu, Z., Barba, F. J., Brnčić, M., & Brnčić, S. R. (2018). An overview of the traditional and innovative approaches for pectin extraction from plant food wastes and by-products: Ultrasound-, microwaves-, and enzyme-assisted extraction. *Trends in Food Science & Technology*, 76, 28-37.
- Minjares-Fuentes, R., Femenia, A., Garau, M. C., Meza-Velázquez, J. A., Simal, S., & Rosselló, C. (2014). Ultrasound-assisted extraction of pectins from grape pomace using citric acid: A response surface methodology approach. *Carbohydrate Polymers*, 106, 179-189.
- Mora-Cortés, D., Gomez, Y. G., & Pacheco, S. (2020). Improvement of Biomethane Potential by Anaerobic Co-Digestion of Sewage Sludge and Cocoa Pod Husks. *International Journal of Technology*, 11(3), 482-91.
- Muharja, M., Darmayanti, R. F., Palupi, B., Rahmawati, I., Fachri, B. A., Setiawan, F. A., ... & Putri, D. K. Y. (2021). Optimization of Microwave-Assisted Alkali Pretreatment for Enhancement of Delignification Process of Cocoa Pod Husk. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 16(1), 31-43.
- Muñoz, E. M. D. V. (2015). Compuestos bioactivos y salud: mitos y realidades. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 65 (Suplemento 1).
- Muñoz-Almagro, N., Valadez-Carmona, L., Mendiola, J. A., Ibáñez, E., & Villamiel, M. (2019). Structural characterisation of pectin obtained from cacao pod husk. Comparison of conventional and subcritical water extraction. *Carbohydrate polymers*, 217, 69-78.
- Nguyen, V. T., Pham, T. D., Vu, L. B., Nguyen, V. H., & Tran, N. L. (2021). Microwave-Assisted Extraction for Maximizing the Yield of Phenolic Compounds and Antioxidant Capacity from Cacao Pod Husk (*Theobroma cacao* L.). *Current Nutrition & Food Science*, 17(2), 225-237.

- Nieto-Figueroa, K. H., Mendoza-García, N. V., Gaytán-Martínez, M., Wall-Medrano, A., Loarca-Piña, M. G. F., & Campos-Vega, R. (2020). Effect of drying methods on the gastrointestinal fate and bioactivity of phytochemicals from cocoa pod husk: In vitro and in silico approaches. *Food Research International*, 137, 109725.
- Oborne, M. (2010). The bioeconomy to 2030: designing a policy agenda. Organisation for Economic Cooperation and Development. *The OECD Observer*, (278), 35.
- Oduro-Mensah, D., Ocloo, A., Nortey, T., Antwi, S., Okine, L. K., & Adamafio, N. A. (2020). Nutritional value and safety of animal feed supplemented with *Talaromyces verruculosus*-treated cocoa pod husks. *Scientific Reports*, 10(1), 1-16.
- Okiyama, D. C., Soares, I. D., Toda, T. A., Oliveira, A. L., & Rodrigues, C. E. (2019). Effect of the temperature on the kinetics of cocoa bean shell fat extraction using pressurized ethanol and evaluation of the lipid fraction and defatted meal. *Industrial Crops and Products*, 130, 96-103.
- Quideau, S., Deffieux, D., Douat-Casassus, C., & Pouységú, L. (2011). Plant polyphenols: chemical properties, biological activities, and synthesis. *Angewandte Chemie International Edition*, 50(3), 586-621.
- Quiles, A., Campbell, G. M., Struck, S., Rohm, H., & Hernando, I. (2018). Fiber from fruit pomace: A review of applications in cereal-based products. *Food Reviews International*, 34(2), 162-181.
- Rahman, R., Laconi, E. B., Jayanegara, A., & Astuti, D. A. (2021). Effect of dietary black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) and bioconversion product of cocoa pod husk on performance and hematological profile of sheep. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1098, No. 6, p. 062058). IOP Publishing.
- Ramos-Ramos, T. P., Guevara-Llerena, D. J., Sarduy-Pereira, L. B., & Diéguez-Santana, K. (2020). Producción más limpia y ecoeficiencia en el procesado del cacao: un caso de estudio en Ecuador. *Investigación & Desarrollo*, 20(1), 135-146.

- Rodrigues, C., Woiciechowski, A. L., Letti Jr, L. A., Karp, S. G., Goelzer, F. D., Sobral, K. C. A., ... & Soccol, C. R. (2017). Materiais lignocelulósicos como matéria-prima para a obtenção de biomoléculas de valor comercial. RESENDE, RR Biotecnologia aplicada à agro&indústria: fundamentos e aplicações, 4, 283-314.
- Rojo-Poveda, O., Barbosa-Pereira, L., Mateus-Reguengo, L., Bertolino, M., Stévigny, C., & Zeppa, G. (2019). Effects of particle size and extraction methods on cocoa bean shell functional beverage. *Nutrients*, 11(4), 867.
- Rossin, D., Barbosa-Pereira, L., Iaia, N., Sottero, B., Danzero, A. C., Poli, G., ... & Biasi, F. (2021). Protective Effect of Cocoa Bean Shell against Intestinal Damage: An Example of Byproduct Valorization. *Antioxidants*, 10(2), 280.
- Ruesgas-Ramón, M., Figueroa-Espinoza, M. C., & Durand, E. (2017). Application of deep eutectic solvents (DES) for phenolic compounds extraction: overview, challenges, and opportunities. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(18), 3591-3601.
- Ruesgas-Ramón, M., Suárez-Quiroz, M. L., González-Ríos, O., Baréa, B., Cazals, G., Figueroa-Espinoza, M. C., & Durand, E. (2020). Biomolecules extraction from coffee and cocoa by-and co-products using deep eutectic solvents. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(1), 81-91.
- Sakagami, H., Satoh, K., Fukamachi, H., Ikarashi, T., Shimizu, A., Yano, K., ... & Osawa, K. (2008). Anti-HIV and vitamin C-synergized radical scavenging activity of cacao husk lignin fractions. *in vivo*, 22(3), 327-332.
- Salim, M. A. (2013). The time variation of *Saccharomyces cerevisiae* inoculation in simultaneous saccharification and fermentation of cocoa (*Theobroma cacao* L.) pod for bioethanol production. *Journal of Asian Scientific Research*, 3(3), 268.
- Schwan, R. F., & Wheals, A. E. (2004). The microbiology of cocoa fermentation and its role in chocolate quality. *Critical reviews in food science and nutrition*, 44(4), 205-221.

- Sharma, R. (2014). Polyphenols in health and disease: practice and mechanisms of benefits. In *Polyphenols in human health and disease* (pp. 757-778). Academic Press.
- Syamsiro, M., Saptoadi, H., Tambunan, B. H., & Pambudi, N. A. (2012). A preliminary study on use of cocoa pod husk as a renewable source of energy in Indonesia. *Energy for Sustainable development*, 16(1), 74-77.
- Thomsen, S. T., Londoño, J. E. G., Schmidt, J. E., & Kádár, Z. (2015). Comparison of different pretreatment strategies for ethanol production of West African biomass. *Applied biochemistry and biotechnology*, 175(5), 2589-2601.
- Tiburcio, P. B. (2017). Solid-state fermentation of *Theobroma cacao* pod husk using *Rhizopus stolonifer*-prospection of biomolecules.
- Valadez-Carmona, L., Plazola-Jacinto, C. P., Hernández-Ortega, M., Hernández-Navarro, M. D., Villarreal, F., Necoechea-Mondragón, H., ... & Ceballos-Reyes, G. (2017). Effects of microwaves, hot air and freeze-drying on the phenolic compounds, antioxidant capacity, enzyme activity and microstructure of cacao pod husks (*Theobroma cacao* L.). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 41, 378-386.
- Vásquez, Z. S., de Carvalho Neto, D. P., Pereira, G. V., Vandenberghe, L. P., de Oliveira, P. Z., Tiburcio, P. B., ... & Soccol, C. R. (2019). Biotechnological approaches for cocoa waste management: A review. *Waste management*, 90, 72-83.
- Villamizar-Jaimes, A. R., & López-Giraldo, L. J. (2017). Cáscara de cacao fuente de polifenoles y fibra: simulación de una planta piloto para su extracción. *Respuestas*, 22(1), 75-83.
- Vriesmann, L. C., Amboni, R. D. D. M. C., & de Oliveira Petkowicz, C. L. (2011). Cacao pod husks (*Theobroma cacao* L.): composition and hot-water-soluble pectins. *Industrial Crops and Products*, 34(1), 1173-1181.
- Vuong, Q. V. (2017). *Utilisation of Bioactive Compounds from Agricultural and Food Production Waste*. CRC Press.

- Yapo, B. M., Besson, V., Koukala, B. B., & Koffi, K. L. (2013). Adding value to cacao pod husks as a potential antioxidant-dietary fiber source. *American Journal of Food and Nutrition*, 1(3), 38-46.
- Yuli, Y., Eka, S., & Yazmendra, R. (2021). Biomass Waste of Cocoa Skin For Basic Activated Carbon as Source of Eco-Friendly Energy Storage. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1788, No. 1, p. 012020). IOP Publishing.
- Yusof, A. H., Abd Gani, S. S., Zaidan, U. H., Halmi, M. I. E., & Zainudin, B. H. (2019). Optimization of an ultrasound-assisted extraction condition for flavonoid compounds from cocoa shells (*Theobroma cacao*) using response surface methodology. *Molecules*, 24(4), 711.
- Zinla, D., Gbaha, P., Koffi, P. M. E., & Koua, B. K. (2021). Characterization of rice, coffee and cocoa crops residues as fuel of thermal power plant in Côte d'Ivoire. *Fuel*, 283, 119250.

Electrónicas

- FAO (2017). La agenda de desarrollo post-2015 y los objetivos de desarrollo del milenio. *Nutrición*. Dirección URL: < <http://www.fao.org/post-2015-mdg/14-themes/nutrition/>>. [Consulta: 25 mayo 2021]
- Global Market Insights (2021). *Food Minerals, Market Size By Product (Industry Analysis Report, Regional Outlook, Application Potential, Price Trends, Competitive Market Share & Forecast, 2019 – 2025)*. Dirección URL: <<https://www.gminsights.com/industry-analysis/food-minerals-market>> [Consulta: 10 abril 2021].
- Gómez-García Palao, R., & Vignati, F. (2016). *Iniciativa Latinoamericana del cacao*. CAF. Dirección URL: <<http://scioteca.caf.com/handle/123456789/892>>. [Consulta: 5 mayo 2021].
- MarketsandMarkets (2021a). *Dietary Fibers Market worth \$9.6 billion by 2025*. Dirección URL:

<<https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/dietary-fibers.asp>>. [Consulta: 2 junio 2021].

MarketsandMarkets (2021b). Pectin Market by Type (HM Pectin, LM Pectin), Raw Material (Citrus fruits, Apples, Sugar beet), Function, Application (Food & beverages, Pharmaceutical & Personal Care Products, Industrial Applications), and Region-Global Forecast to 2025. Dirección URL: <<https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/pectin-market-139129149.html>> [Consulta: 10 abril 2021].

MIDAGRI (2020). Producción nacional de cacao en grano. Dirección URL: <<https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/305143-produccion-nacional-de-cacao-en-grano-crecio-en-la-ultima-decada-a-un-promedio-de-12-6-al-ano>>. [Consulta: 1 marzo 2021].

MIDAGRI (2021). Boletín de Publicación Trimestral N.º 01 – 2021/ Observatorio de Commodities: cacao. Dirección URL: <<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2009611/Commodities%20Cacao%3A%20ene-mar%202021.pdf>>. [Consulta: 15 junio 2021].

Shutterstock.com. Cacao y derivados. Dirección URL: <www.shutterstock.com> [Consulta: 4 junio 2021].