

## Valorization of Cocoa by Products: Applications and Perspectives in the Food Industry

### Valorización de los residuos de cacao: aplicaciones y perspectivas en la industria alimentaria

Mayra Fernanda Chico<sup>1\*2\*</sup>

#### ABSTRACT

Cocoa (*Theobroma cacao L.*) is a native species of the Amazon region in South America. Its fruit weight fluctuates between 200 g to more than 1 kg. The cocoa industry mainly uses the seeds contained into de cocoa pod husk as the fraction with the highest commercial value for the production of chocolate. During the pre-processing stages, approximately 80% of the cocoa fruit is discarded as residual biomass. From the by-products generated, a series of chemical components with high added value have been studied. They can be recovered through the use of sustainable technologies. This document explores the current uses and application prospects in the food industry of cocoa by-products and their bioactive compounds. The current situation in the cocoa market worldwide and in Ecuador will be briefly presented, followed by a description of the structural and chemical composition of cocoa fruits. Next, the process of transforming cocoa into a final product and the by-product streams generated will be detailed. Finally, current applications and prospects for applications through the use of sustainable technologies will be addressed.

**Keywords:** cocoa, recovery of by-products, cocoa by-products.

#### RESUMEN

El cacao (*Theobroma cacao L.*) es una especie originaria de la región de la cuenca del Amazonas en Sudamérica, el peso de su fruto fluctúa entre 0.2 kg hasta más de 1 kg. En la industria del cacao mayoritariamente utilizan las semillas que están dentro de la vaina como la fracción con mayor valor comercial para la elaboración del chocolate. Durante las etapas de pre-procesamiento, aproximadamente el 80% de la fruta del cacao se descarta como biomasa residual. De los subproductos generados, se han estudiado una serie de componentes químicos de elevado valor añadido que pueden ser recuperados mediante el uso de tecnologías sostenibles. Este documento explora las aplicaciones actuales y las perspectivas de aplicación en la industria alimentaria de los subproductos del cacao y sus compuestos bioactivos. Se presentará brevemente la situación actual en el mercado del cacao a nivel mundial y de Ecuador, seguidamente de la descripción de la composición estructural y química de los frutos del cacao. Posteriormente se detallará el proceso de transformación del cacao en un producto final y las corrientes de subproductos generadas. Finalmente, se abordarán las aplicaciones actuales y las perspectivas de las aplicaciones mediante el uso de tecnologías sostenibles.

**Palabras clave:** cacao, valorización de subproductos, subproductos de cacao.

Recibido 28 de febrero de 2022 Aceptado 09 de diciembre de 2022

<sup>1</sup> Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología (FCIAB), Universidad Técnica de Ambato (UTA), Av. Los Chasquis & Rio Payamino, Z.C. 180150, Ambato

<sup>2</sup> Universidad Central del Ecuador (Facultad de Ciencias Biológicas), Quito, Código postal: EC170136,

\*Autor para correspondencia: Telf :+593 22548570; e-mail: mf.chico@uta.edu.ec

## **1. INTRODUCCIÓN**

La producción y procesamiento de cacao constituye un rubro de elevado interés económico en Ecuador, que se ubica como uno de los siete mayores productores mundiales de cacao junto a Costa de Marfil, Ghana, Camerún, Nigeria, Indonesia y Brasil (ICCO, 2019). El promedio anual de producción de cacao tipo CCN51 (la variedad comercial de mayor rendimiento ) y de variedad nacional (de fermentación corta con cualidades organolépticas altamente apreciadas) en Ecuador entre el 2014 y 2019 fue de aproximadamente 260.333 toneladas (Escobar et al., 2020). Estas cifras posicionan al Ecuador como el líder regional en la producción de cacao entre Colombia, Perú y República Dominicana. Durante las etapas de pre-procesamiento, aproximadamente el 80% de la fruta del cacao se descarta como biomasa residual, esta incluye principalmente a las cáscaras de las vainas de cacao (CVC), las cáscaras de los granos de cacao (CGC) y la pulpa mucilaginosa (Vásquez et al., 2019). Se conoce que aproximadamente 10 toneladas de desechos húmedos y subproductos se eliminan por cada tonelada de granos secos (Acosta et al., 2018; Valadez-Carmona et al., 2017). Los agricultores descartan los residuos de los primeros pasos del pre-procesamiento del cacao ocupando amplias áreas de terreno y causando preocupación a nivel social y ambiental. El desecho de líquido que secreta la pulpa durante la fermentación, se suele desechar en terrenos aledaños a los cacaoteros, generando contaminación de suelos, agua, olores desagradables y deterioro del panorama en temporada de lluvias (Villagómez García & Moreta, 2013). El uso alternativo más común el de fertilizante de los mismos árboles de cacao. Según da Costa, do Rosario y, Przygoda (2020) la demanda mundial del mercado del chocolate para el 2026 puede alcanzar los 196 billones de dólares con un incremento anual promedio del 1.5 %, esto a pesar de la recesión económica mundial causada por la pandemia del COVID-19. Las tendencias para el incremento sostenido del consumo son positivas, esto se debe a la demanda por productos nuevos y diversos. Por esta causa se ha potencializado nuevos retos en la cadena de producción de alimentos para el uso, recuperación y valorización de las fracciones consideradas como residuos alimentarios. Galanakis, Aldawoud, Rizou, Rowan y, Ibrahim (2020) consideran que el mercado de alimentos funcionales requiere de materias primas y aditivos fortificados con compuestos bioactivos y antioxidantes que promuevan la salud y aporten a fortalecer el sistema inmunológico de los consumidores. Estos insumos podrían ser aislados mediante procesos innovadores,

rentables y económicamente viables para que logren alcanzar un sitio en el competitivo mercado de los ingredientes alimentarios. Se prevé que en una etapa post pandemia la demanda por alimentos con propiedades nutraceuticas y funcionales se incremente por una transición hacia un mercado con consumidores más conscientes de su alimentación. Los estudios realizados por Gutiérrez-Macías, Mirón-Mérida, Rodríguez-Nava y, Barragán-Huerta (2021); Mariatti, Gunjević, Boffa y, Cravotto (2021); Okiyama, Navarro y, Rodrigues (2017); Panak Balentić et al. (2018); Puerari, Magalhães y, Schwan (2012) a cerca de la caracterización de los residuos del cacao demuestran que las biomoléculas que constituyen tanto la mazorca como el mucílago que rodea a las semillas tienen un elevado potencial para la industria alimenticia, cosmética y farmacéutica. El uso de la Biotecnología como una herramienta para obtener productos con mayor valorización apenas comienza a ser estudiada. Se prevé que la diversificación de aplicaciones industriales que puedan surgir a partir de estos productos, aporte significativamente a las cadenas de valor de la industria del cacao (Vásquez et al., 2019). Teniendo en cuenta que la valorización de todos los residuos agroalimentarios ha venido generando gran interés por las posibilidades de recuperar compuestos bioactivos, y por el potencial que contienen los subproductos no explotados, el aprovechamiento de los residuos del cacao para múltiples finalidades es una oportunidad para promover una bioeconomía circular, dado que se cumple con el cierre del ciclo productivo y se incrementa la eficiencia reduciendo la cantidad de residuos (Mellinas, Jiménez, & Garrigós, 2020). Otro aspecto significativo es la disponibilidad y los bajos costos a los que se pueden obtener los residuos del cacao como materia prima. Todos estos son factores propicios para mejorar el estado económico, ambiental y social asociado con esta actividad agrícola. De igual forma, una promoción y establecimiento de la producción cíclica de cacao donde se reduzca significativamente o se elimine la generación de residuos, daría como resultado la reducción de los costos de producción (Gutiérrez-Macías et al., 2021). Por otro lado, se requiere del establecimiento de un marco legal novedoso y actualizado, junto con más estudios que respalden la calidad y seguridad de los nuevos productos y materiales antes de su reinsertión final e integración en los diferentes procesos y mercados. Finalmente, resulta imprescindible la identificación de estrategias adecuadas que permitan mantener y promover el posicionamiento del Ecuador en la producción sostenible de cacao en un mercado cambiante. Estas estrategias deberán tener el potencial de ser adaptadas especialmente en las cadenas sostenibles de producción de pequeños y medianos

productores (Escobar et al., 2020). La valorización de estas corrientes en subproductos puede reducir la generación de desperdicios contaminantes e incrementar el desarrollo de productos potencialmente rentables, proporcionando beneficios en la economía de todos los actores involucrados en la cadena de producción. Este documento se centra en explorar las aplicaciones actuales y las perspectivas de aplicación en la industria alimentaria de los subproductos del cacao y sus compuestos bioactivos. Se presentará brevemente la situación actual en el mercado del cacao a nivel mundial y de Ecuador, seguidamente de la descripción de la composición estructural y química de los frutos del cacao. Posteriormente se detallará el proceso de transformación del cacao en un producto final y las corrientes de subproductos generadas. A continuación, se abordará las aplicaciones actuales y las perspectivas de las aplicaciones mediante el uso de tecnologías sostenibles.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

La información del presente artículo de revisión se obtuvo a partir de un 80% de material bibliográfico no mayor a 10 años de antigüedad de revistas científicas, reportes oficiales, folletos y libros se realizó en las bases de datos electrónicas de e-books y journals proporcionadas por la Universidad Técnica de Ambato: eLibro, Proquest Ebook Central, Digitalia HISPANICA, Springer, Wiley Online Library, Scopus.

## **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **3.1 Situación actual en el mercado del cacao a nivel mundial.**

*Theobroma cacao* L. pertenece a la familia Malvaceae, originaria de la región de la cuenca del Amazonas en Sudamérica. Alcanza una altura entre los 4 y 10 metros y generalmente empieza a producir frutos a partir de los 3 años. Sin embargo, alcanza su máximo nivel de productividad después de 8 a 9 años y se estabiliza entre los 11-15 años (Kim, Lee & Lee, 2011). El fruto de la planta de cacao es una vaina que presenta coloraciones diferentes en función de su estado de madurez, empezando por el verde al morado en frutos inmaduros a rojos y anaranjados o amarillos en frutos maduros. Su peso fluctúa entre 200 g hasta más de 1 kg. Su forma está en dependencia de la variedad con

dimensiones que van entre 10 a 35 cm (Afoakwa, 2010; Kovac, 2002).

(i) CCN-51: En Ecuador la variedad de cacao CCN51 (Colección Castro Naranjal 51) se considera ordinario (Fersenth et al., 2016). Esta variedad surgió para incrementar la producción de cacao en compensación a la reducción de la producción del tipo conocido como cacao arriba. Este clon es resistente a las enfermedades y tiene una productividad que duplica a las otras variedades manteniendo una buena calidad (Diario El Universo, 2005). Su potencial se encuentra en la producción de manteca de cacao (Andrade, 2009).

(ii) Nacional de Ecuador o Cacao Arriba fino y de aroma: El color interno de las almendras es violeta pálido o lila, aunque en algunas ocasiones se observan semillas blancas. De este tipo de cacao se obtiene un tipo de chocolate con una elevada valoración en el mundo, por sus notas de sabor y aroma floral, combinado con perfiles afrutados. La producción de este tipo de cacao ocurre naturalmente en unos pocos países ubicados en la zona más próxima al norte y al sur de la línea ecuatorial (Kongor et al., 2016). Los términos utilizados para describir a este cacao son: Cacao arriba (porque se lo cultivaba río arriba de Guayaquil), Cacao fino o Cacao nacional (Ministerio de Agricultura, 2010). Es producido especialmente en la zona de la costa de Ecuador en las provincias de Los Ríos y Guayas por sus características geográficas, clima y suelo apropiados. Representa el 30% de la producción nacional y el 5% de la producción mundial, siendo un 63% de este tipo el proveniente del Ecuador. A estas variedades de cacao se suman otro tipo de variedades como los clones INIAP-EETP-800 e INIAP-EETP-801 son resultado de un arduo trabajo por más de dos décadas de investigación y desarrollo en el área de mejoramiento genético, con lo cual se demuestra que sí es posible aumentar significativamente los niveles de producción por hectárea en el cacao tipo Nacional fino y de aroma, a niveles iguales o superiores al CCN51 (Loor et al., 2018). Escobar et al. (2020) mencionan que la producción de cacao en el Ecuador procede de pequeños agricultores que representan el 70% de la actividad para el cacao tipo CCN51 y el 99% para el cacao de variedad nacional. Siendo los mayores productores los que aportan con la mínima parte de la producción. El sabor de esta variedad ha sido reconocido durante siglos en el mercado internacional según la Asociación Nacional de Exportadores de Cacao e Industrializados de Ecuador (ANECACAO, 2019). Hasta el 2021 se han certificado 331.028,57 toneladas de cacao en grano para la exportación bajo la Norma Técnica Ecuatoriana NTE-INEN 176, de éstos el 81% corresponde al Cacao Arriba Fino de Aroma y el 19% al Cacao CCN-51 (Agrocalidad, 2021). Las mayores cantidades de

cacao en grano son producidas por Costa de Marfil, Ghana, Indonesia, Nigeria, Camerún, Brasil y Ecuador. Estos 7 países representan aproximadamente el 90% de la producción mundial de cacao en grano (Okiyama et al., 2017). En la Figura 1 de acuerdo a FAOSTAT (2018), se presenta el mapa con los mayores productores a nivel mundial. Hasta el 2017 el cacao en grano exportado ya sea entero o partido, crudo o tostado, tuvo un valor combinado de 8,6 mil millones de dólares. Se espera que el mercado global de cacao en grano crezca a una tasa anual compuesta del 7,3% de 2019 a 2025 y alcance los 16,32 mil millones de USD.

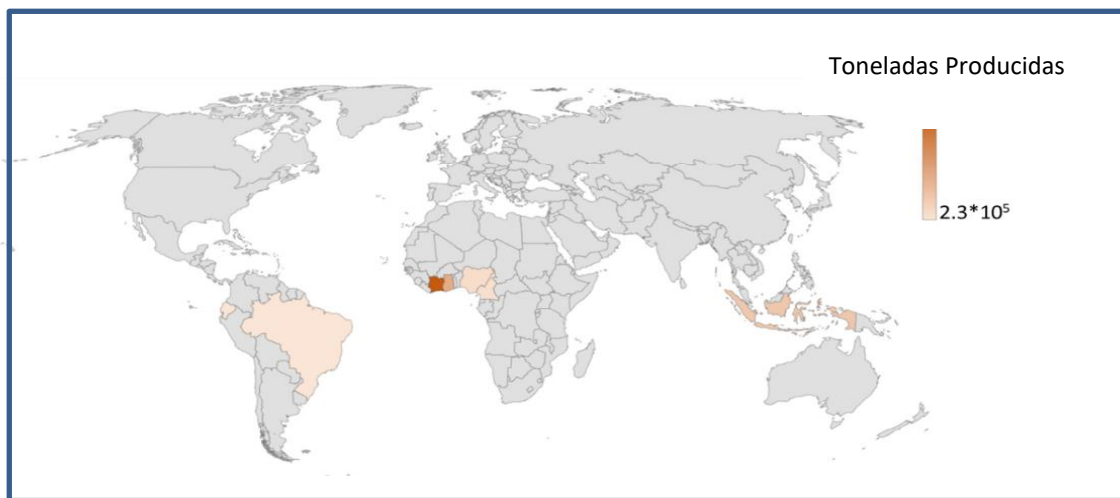


Figura 1. Los siete países con mayores niveles de producción de cacao a nivel mundial se colorean de acuerdo a la producción anual en toneladas (FAOSTAT,2018).

La industria del chocolate consumió 43 por ciento de todo el cacao en 2017, y se espera que el mercado minorista crezca a USD 189,890 millones para el 2026 (Voora, Bermúdez, S & Larrea, 2019). Los principales usos que se les da a los productos del cacao (Figura 2) están en la industria de la confitería, alimentos funcionales y bebidas, seguidos de estos la cosmética y farmacéutica. Gracias a sus beneficios comprobados, se prevé que el uso de los insumos que provienen del cacao para estas industrias continúe creciendo constantemente (Grand View Research., 2019; Panak et al., 2018).

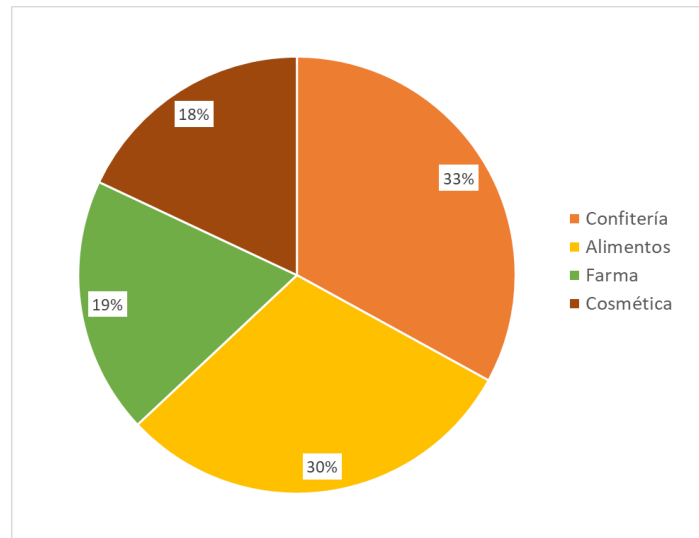


Figura 2. Mercado Global de granos de cacao por aplicación industrial. Fuente : Grand View Research. (2019).

### 3.2 Proyecciones de la producción de cacao en Ecuador

A pesar de las restricciones globales de los mercados por la crisis sanitaria del COVID-19, el 2021 fue un año positivo para el cacao y sus productos semielaborados en el Ecuador. Según ANECACAO, para el 2021, las exportaciones de estos rubros superaron los USD 950 millones de dólares. Esto es 15 millones más que en el año 2020 en donde ya se registró un incremento de más de 50,000 toneladas en ventas llegando a las 360.800 toneladas exportadas. Para el 2022 se prevé superar las 380.000 toneladas y para el 2025 se espera llegar a las 500,000 toneladas exportadas. Esta proyección creciente indica que en los próximos años se tendrá un crecimiento muy acelerado. Si bien es cierto el mercado del cacao es variable, a inicios del 2021 el quintal de granos de cacao se comercializó en más de USD 100 dólares, actualmente el precio por tonelada oscila los USD 2,800 dólares. El Ecuador tiene como objetivo llegar al comercializar su cacao en el mercado chino que, a pesar de tener un consumo per cápita de solamente 200 gramos por año, la cantidad de población (1,700 millones de habitantes) hace que sea un mercado muy atractivo. México por otra parte es el nexo entre el Ecuador y el mercado estadounidense por ser un procesador-maquilador del cacao ecuatoriano que luego se vende en Estados Unidos. Este es el principal destino del cacao en grano como semielaborado, seguido por Indonesia, Malasia, Holanda y México. Los productos semielaborados de cacao que más se exportan son el licor o pasta, manteca y polvo de cacao (Vásconez, 2022). Las

empresas ecuatorianas están enfocadas en buscar agentes diferenciadores en el mercado mediante certificaciones de calidad para el cacao tipo premium orgánico y sostenible. Por ejemplo, está la implementación de la norma de calidad ISO 34104, la cual permitiría elevar la calidad en el procesamiento del cacao. Otras estrategias innovadoras tienen que ver directamente con mejoras en el procesamiento, por ejemplo, a nivel de la fermentación. La reducción en las concentraciones de mucílago requeridas para este paso ha permitido disminuir los tiempos de producción en el procesamiento e incrementar la calidad del aroma del cacao fino de aroma (Ginatta, Vignati, & Rodríguez, 2020). Adicionalmente, esta variación permite tener un mayor volumen de generación de este subproducto, mismo que se destina a la elaboración artesanal de miel de cacao (jugo de mucílago) y bebidas alcohólicas. Las cáscaras del grano por otro lado se pulverizan y se emplean para la elaboración de tés e infusiones para así aprovechar sus propiedades antioxidantes y estimulantes que serán discutidas más adelante. Algunas de las aplicaciones actuales que se les da a los subproductos del cacao a nivel artesanal se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Usos alternativos del cacao y sus subproductos a nivel artesanal en Ecuador.

Fuente: Elaboración propia.

<b>Productos comerciales artesanales a base de cacao ecuatoriano</b>
Vino
Vinagre
Pasta de chocolate al 100%
Perfume a base de cacao
Crema exfoliantes
Nibs
Tés
Whiscao (Whisky de cacao)
Vinagretas
Néctar
Cocteles
Bactericida bucal

### **3.3 Etapas del pre-procesamiento y procesamiento del cacao y subproductos generados.**

Para convertir los granos de cacao en los productos finales de mayor comercialización como es chocolate, pasta de cacao, licor, manteca y polvo se desarrollan una serie de



etapas de transformación (Figura 3) que se agrupan en dos fases: el pre-procesamiento y procesamiento (Okiyama, 2017).

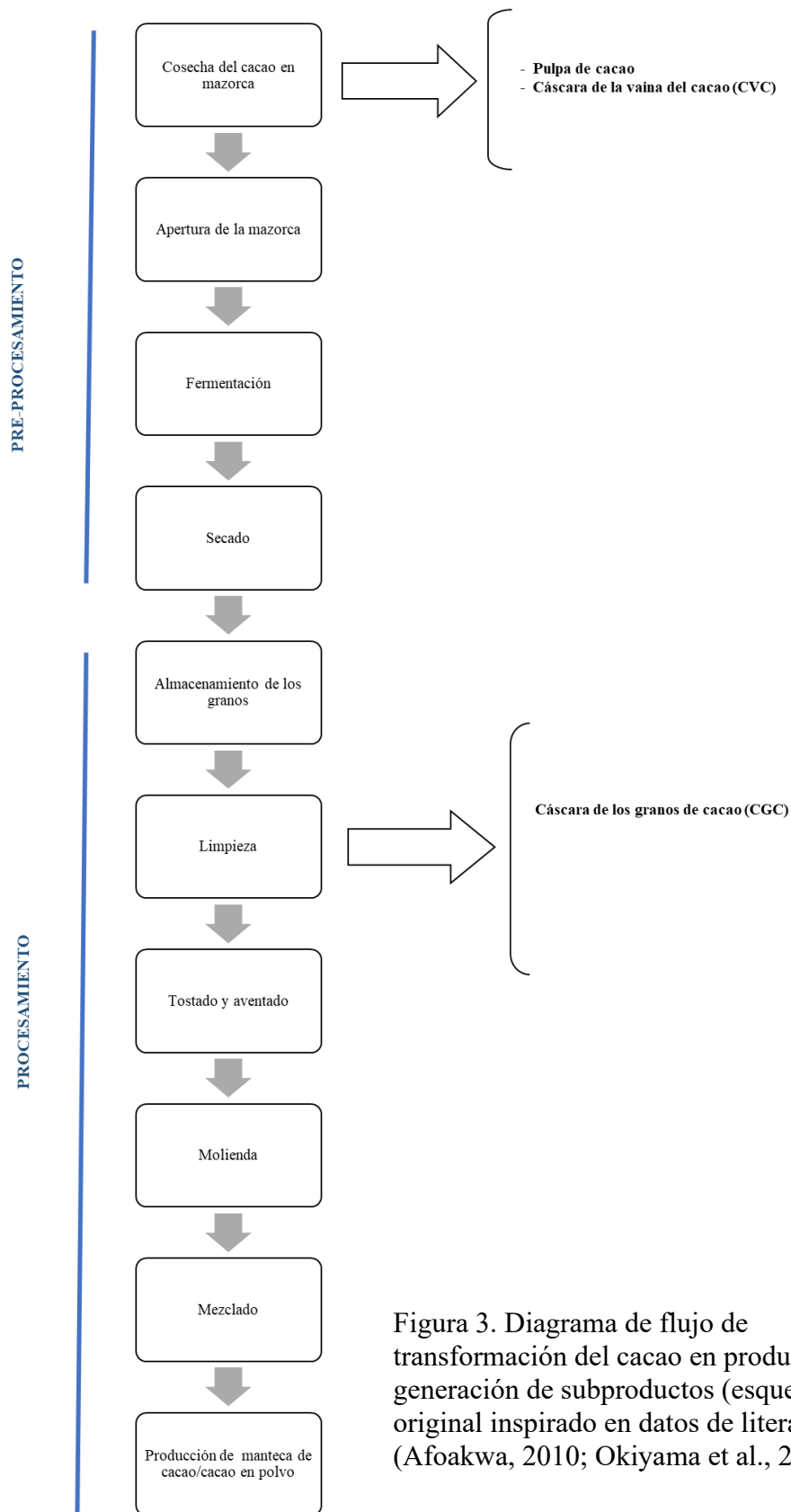


Figura 3. Diagrama de flujo de transformación del cacao en producto final y generación de subproductos (esquema original inspirado en datos de literatura) (Afoakwa, 2010; Okiyama et al., 2017).

### 3.3.1 Pre-procesamiento

- **Recuperación de los granos**

Cuando se abre la vaina, los elementos recuperados son los granos con parte de su pulpa que los recubre, mientras que la cáscara y la mayor parte de su pulpa se separan y desechan. El cacao en baba, como se le llama a los granos embebidos en su pulpa, se coloca de preferencia en un saco plástico limpio. De esta manera el mucílago se conserva durante un mayor periodo de tiempo. Esto, en caso de que se tenga que transportarlo con finalidades de aplicación industrial específicas relacionadas a esta fracción. Por ejemplo según Sánchez et al. (2019), para la elaboración de licores, vinagres, mermeladas, jugos. Los granos pequeños, cortados, planos o pegados se deben procesar aparte para no darle al cacao un mal aspecto que deteriore la calidad.

- **Fermentación**

El proceso se lleva a cabo en cajones de madera con orificios que permiten que los jugos que forman parte del mucílago puedan ser recogidos como lixiviados. Se ubican bajo sombra y se debe evitar corrientes de viento y la presencia de animales. La fermentación toma entre cinco a seis días en donde se debe invertir la masa para permitir la entrada de oxígeno en el día dos, cuatro y cinco. De esta manera se logra además homogeneizar la fermentación en todos los puntos de los cajones. Durante el desarrollo de este proceso fermentativo, el mucílago se desprende de las semillas, incrementa la temperatura, el embrión de la semilla muere y se genera una gran cantidad de compuestos precursores del sabor y compuestos con actividad saborizante. Al finalizar este proceso, los granos quedan hinchados y el color de su cáscara cambia a un tono oscuro. El lavado del grano antes de la fermentación o la extensión de días de fermentación pueden generar procesos de putrefacción, generando acidez y malos sabores que son difíciles de remover durante la fase del procesamiento microbiana (Compañía Nacional de Chocolates S.A., 2012). Durante el proceso de fermentación intervienen los microorganismos que se encuentran naturalmente en los granos dentro de las vainas. A éstos se le suman los microorganismos que provienen de las superficies con las que la pulpa entra en contacto como los cajones, utensilios y las manos de los operarios. Levaduras, bacterias lácticas y finalmente

bacterias acéticas intervienen en esta transformación. Factores como el pH, cambios en el contenido de azúcar y las condiciones anaeróbicas favorecen la actividad de los microorganismos (Nielsen et al, 2010). Las levaduras presentes transforman los azúcares sencillos del mucílago en etanol, y este ayuda a la degradación de la pectina. Se generan modificaciones morfológicas en el grano y se reduce la acidez. Las levaduras consumen el oxígeno y crean un ambiente anaeróbico para el desarrollo de bacterias lácticas (Tabla 2) (Wacher, 2011). Durante la segunda fase del proceso de fermentación del cacao (Tabla 3) se favorece el desarrollo de bacterias lácticas. Éstas fermentan los carbohidratos residuales y continúan con el consumo de ácido cítrico (De Bruyne, Camu, de Vuyst, & Vandamme, 2010). En la tercera fase, la fermentación se activa con las bacterias acéticas que transforman el etanol que produjeron las levaduras en ácido acético. Esta es una reacción exotérmica, la generación de calor ocasiona la muerte del embrión y la difusión del etanol en ácido acético al interior de los granos de cacao (Tabla 4) de Nielsen et al. (2010). La cuarta y última fase de la fermentación tiene lugar entre las 48 a 60 horas del proceso. Predominan en esta etapa bacterias del género *Bacillus* (Tabla 5). La temperatura elevada de esta fase favorece la producción de moléculas que confieren sabor como la 2,3-butanodiol (Ardhana & Fleet, 2003).

**Tabla 2.** Principales microorganismos que intervienen en la fermentación del cacao, dividido por fases: Levaduras (Wacher, 2011).

<b>Primera fase. Participación de las levaduras</b>	
<b>Levadura</b>	<b>Característica</b>
<i>Hanseniaspora guilliermondii</i>	Levadura predominante durante las primeras 24 horas.
<i>Candida zemplinina</i>	Se detecta mediante técnicas de Biología Molecular.
<i>Candida silvae</i> , <i>Candida zemplinina</i> y <i>Candida diversa</i>	Son levaduras que se encuentran comúnmente en las fermentaciones en charolas, posiblemente, por la mayor concentración de oxígeno en ese tipo de fermentación.
<i>Saccaromyces cerevisiae</i>	Predomina junto con <i>Pichia membranaefaciens</i> entre las 36-38 horas.
<i>Pichia membranaefaciens</i>	Predomina con <i>Saccaromyces cerevisiae</i> entre las 36-38 horas. Se encuentra al final de la fermentación.

<i>Pichia kudriavzevii</i> , <i>Saccharomyces cerevisiae</i> y <i>Hanseniaspora opuntiae</i>	Son los componentes principales de la comunidad de levaduras, en las fermentaciones por pilas que se llevan a cabo en Ghana, África. <i>H. opuntiae</i> se desarrolla al principio de la fermentación, debido a su tolerancia a valores bajos de pH y a sus características metabólicas.
<i>Candida halmiae</i> , <i>Geotrichum ghanense</i> , <i>Candida awuuii</i>	Nuevas levaduras que no se han reportado en otros ambientes o fueron aislados inicialmente del cacao

**Tabla 3.** Bacterias lácticas generadas en la segunda fase (De Bruyne et al., 2010).

<b>Segunda fase. Participación de las bacterias lácticas</b>	
<b>Bacterias lácticas</b>	<b>Características</b>
<i>Lactobacillus</i>	
<i>Leuconostoc pseudomesenteroides</i> , <i>Leuconostoc pseudoficulneum</i> y <i>Pediococcus acidilactici</i> .	Aisladas en las fermentaciones de pilas, fermentan los carbohidratos residuales y continúan el consumo del ácido cítrico.
<i>Weissella fabaria</i>	Reportada como una especie nueva, aislada de fermentaciones de cacao en Ghana.

**Tabla 4.** Bacterias acéticas generadas en la tercera fase. Fuente: (Nielsen et al., 2010).

<b>Tercera fase. Participación de las bacterias acéticas</b>	
<b>Bacterias acéticas</b>	<b>Características</b>
<i>Gluconobacter oxydans</i> , <i>Acetobacter aceti</i> y <i>Acetobacter pasteurianus</i>	Importantes bacterias acéticas que se han aislado de la fermentación del cacao.
<i>Acetobacter tropicalis</i>	Se encuentran al final de la fermentación.
<i>Acetobacter fabarum</i>	Es una especie nueva, aislada de fermentaciones de cacao en Ghana

**Tabla 5.** Bacterias del Género Bacillus que intervienen en la fase final de la fermentación (Ardhana & Fleet, 2003).

#### Cuarta fase. Participación de las bacterias del género Bacillus.

Especies de Bacillus.	Características
<i>B. licheniformis</i> , <i>B. megaterium</i> , <i>B. pumilus</i> , <i>B. subtilis</i> , <i>B. megaterium</i> y <i>B. pumilus</i>	Se presentan en el volteo de los granos en pila.

- **Secado**

Esta etapa es muy importante para preservar los granos durante el almacenamiento y el transporte. Se requiere de una etapa de secado previa al transporte de los granos a una planta de procesamiento industrial. El contenido de humedad de los granos debe estar entre el 6 y el 8% (Afoakwa, 2010). Por debajo de este rango el grano se vuelve quebradizo y sobre el nivel superior es más probable el desarrollo de moho, el incremento de acidez en el grano y no se completa la formación de moléculas responsables de los aromas y sabores (Nogales et al., 2006).

1. Primera etapa de secado: El objetivo de esta etapa es reducir considerablemente la acidez con la que salen las almendras del proceso de fermentación por medio de la evaporación.
2. Segunda etapa del Secado: Durante esta etapa se completan los cambios bioquímicos de la fermentación, se completa la reducción de la acidez y se obtiene los sabores y aromas característicos del chocolate. Esta etapa es considerada como la de mayor importancia en la producción de cacao. Al finalizar este proceso las semillas son enviadas a la etapa de procesamiento para la elaboración de pasta de cacao, manteca de cacao y cacao en polvo (FAO, 2011) .

### 3.3.2 Fase de Procesamiento.

Este proceso tiene lugar en fábricas que mayoritariamente tienen lugar en países no productores de cacao. La Unión Europea procesa alrededor del 40% del cacao, Estados

Unidos, Brasil e Indonesia también figuran dentro de los que más procesan (Quelal-Vásconez, Lerma-García, Pérez-Esteve, Talens, & Barat, 2020). Una vez recibidos los granos, se deben limpiar para remover impurezas antes del tostado. En el tostado se secan los granos al punto de que sus cáscaras se desprenden (CGC), éstas se desechan, usualmente aventándolas con aire. La separación de estas cáscaras también puede darse antes del tostado (Figura 4). Esto va a depender de cuál de los dos procedimientos mencionados se aplique. Muchos de los componentes responsables del aroma final del cacao surgen a partir de las transformaciones bioquímicas que ocurren durante el tostado (Gutiérrez-Macías et al., 2021; Kovac, 2002).



Figura 4. Estructura y composición de una mazorca de cacao. Modificado de Gutiérrez-Macías et al. (2021)

### 3.4 Composición estructural y química de la cáscara de la mazorca y de las semillas del cacao.

La cáscara de la vaina del cacao (CVC) representa entre el 67% al 76% del fruto y está compuesta de cuatro capas: el epicarpio o piel, mesocarpio, esclerótica y endocarpio (Lu

et al., 2018). Los granos de cacao están compuestos por una cáscara externa (cáscara de grano de cacao, CGC) y representan alrededor del 23% de la fruta entera, los granos consisten en dos cotiledones y el germen, y el mucílago que equivale entre el 8.7-9.9% del peso del fruto (Figura 4). Los datos sobre la composición general de la CVC y la CGC en la literatura muestran una gran variabilidad (Tabla 6). En función de esta variabilidad y composición se han propuesto diversas estrategias para la valorización de estas corrientes. Empezando por aplicaciones simples y de bajo valor como el uso de la CVC como fertilizante del suelo hasta su uso con elevado valor para la CVC y la CGC en el mercado como fuentes de pectina y polifenoles (Gutiérrez-Macías et al., 2021; Hernández-Hernández et al., 2019)(Figura 5). Las CGC contiene cantidades representativas de polifenoles que se hallan principalmente en los cotiledones de las semillas y se difunden a las cáscaras durante las operaciones de fermentación y tostado (Jokić, Gagić, Knez, Šubarić, & Škerget, 2018; Nazaruddin, Seng, Hassan, & Said, 2006). Las proporciones de polifenoles registran una amplia variabilidad en la literatura debido a la incidencia de las particularidades de las condiciones aplicadas en el procesamiento, Mariatti et al., (2021) indican que las epicatequinas particularmente podrían difundirse con mayor facilidad que las procianidinas que al ser más grandes permanecen concentradas en los cotiledones.

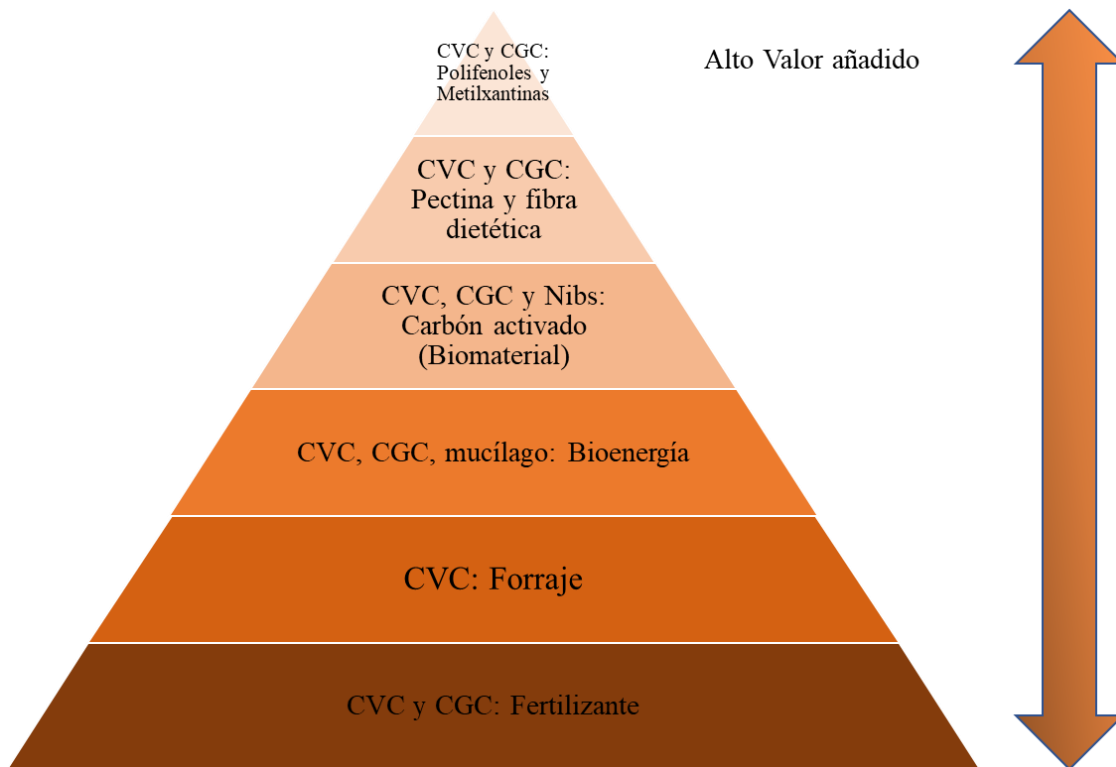


Figura 5. Valorización de los componentes encontrados en los subproductos del cacao de acuerdo a su uso. Fuente: Elaboración propia

### 3.5 Compuestos con propiedades de los subproductos del cacao.

#### 3.5.1 Polifenoles

Dentro del sector de alimentos y bebidas funcionales, los polifenoles tienen una amplia aplicación. El mercado mundial de este tipo de compuestos bioactivos llegó a valorarse en USD 1,280 millones con una perspectiva de crecimiento anual del 7.2% en el periodo de 2019 y 2025 (Galanakis, 2018; Grand View Research, 2019; Quijano Aviles, Franco Agurto, Surez Quirumbay, Barragn Lucas & Manzano Santana, 2016). Adicionalmente, también se han visto incremento en el desarrollo de aplicaciones en el área cosmética y farmacéutica (Ferrazzano et al., 2011; Galanakis, Tsatalas, & Galanakis, 2018).

Dadas las aplicaciones en las áreas de bienestar y salud humana, los polifenoles son considerados los compuestos más valiosos que se pueden encontrar en los residuos del cacao principalmente catequina, epicatequina y procianidinas (de Filippis, 2015; Rasouli, Farzaei, & Khodarahmi, 2017; Rojo-Poveda et al., 2021). En los vegetales los polifenoles se encargan de desarrollar funciones de protección contra parásitos, patógenos, luz ultravioleta, especies reactivas de oxígeno y nitrógeno y además se ha visto que tienen un



rol en procesos de defensa planta-planta contra depredadores (Brglez Mojzer, Knez Hrnčič, Škerget, Knez, & Bren, 2016; Ferrazzano et al., 2011). Adicionalmente se ha reconocido a estos compuestos bioactivos como esenciales en la dieta humana (Ferrazzano et al., 2011; Rasouli et al., 2017). De acuerdo con Mariatti et al., (2021) se han identificado varios miles de moléculas de polifenoles vegetales con gran variabilidad y con estructuras complejas, el anillo fenólico es la unidad estructural central de las moléculas de todos los polifenoles. Su clasificación está dada de acuerdo con el número de unidades fenólicas que presentan y de acuerdo a los residuos que se adhieren a estas estructuras: ácidos fenólicos (ácidos hidroxibenzoicos y ácidos hidroxicinámicos), flavonoides (flavonoles, flavonas, flavanoles, flavanonas, isoflavonas, proantocianidinas), estilbenos y lignanos (Abbas et al., 2017; el Gharras, 2009; Petti & Scully, 2009). Hasta hoy no se tiene indicios de que los polifenoles derivados de plantas tengan efectos tóxicos. Sin embargo, los efectos que puedan tener sobre el metabolismo humano con ingestas moderadas a largo plazo podrían brindar varios beneficios para la salud, ya que poseen propiedades antioxidantes, actúan como eliminadores de radicales libres y reducen el estrés oxidativo (Cravotto et al., 2018; Rossin et al., 2019; Vauzour, 2014; Vauzour, Rodriguez-Mateos, Corona, Oruna-Concha, & Spencer, 2010).

### **3.5.2 Metilxantinas**

Las metilxantinas, pertenecen al grupo de los alcaloides, tienen como estructura un anillo característico de purina y radicales metil en distintas posiciones. Se caracterizan por ser moléculas poco solubles. La cafeína y la teofilina son derivados de la metilxantina y se las puede encontrar en el café, té, mate o chocolate. Son estimulantes del sistema nervioso central (SNC) y en dosis moderadas ayudan a incrementar el rendimiento mental y físico disminuyendo la fatiga y el sueño y mejorando el estado de ánimo. De ahí que los consumidores tengan especial interés en bebidas que los contengan. La cafeína se agrega comúnmente a los refrescos como agente saborizante y también se usa en formulaciones (Moratalla, 2008). En las CGC se encuentran principalmente las metilxantinas teobromina (3,7-dimetilxantina) y la cafeína (1,3,7-dimetilxantina), aunque también se ha detectado teofilina en trazas (Jokić et al., 2018). También se ha reportado otro tipo de beneficios asociados con su actividad como agentes diuréticos, anticancerígenos y de prevención de la obesidad (Heck & de Mejia, 2007). Por otro lado, los efectos adversos

de la cafeína señalan que puede causar trastornos como taquicardia, disfunción renal, alteraciones de los ácidos estomacales e inclusive delirios y convulsiones (Bispo et al., 2002). La teobromina, que también es un metabolito de la cafeína, es incolora e inodora, con un sabor ligeramente amargo, característico del chocolate. A diferencia de la cafeína, la teobromina tiene una acción mucho más débil sobre el sistema nervioso central (SNC) ya que tiene una afinidad de 2 a 3 veces menor para los receptores de adenosina que la cafeína. Adicionalmente posee propiedades miorelajantes y de estimulación cardíaca y se ha utilizado como dilatador de las arterias coronarias o broncodilatador para el tratamiento del asma (Ashihara, Sano, & Crozier, 2008; Baggott et al., 2013; Rojo-Poveda et al., 2019). Considerando la concentración moderada de cafeína, las metilxantinas contenidas en las CGC también pueden tener efectos interesantes en la salud humana y podrían darle un valor agregado a las CGC como ingrediente biofuncional. También se ha observado una interacción entre los flavanoles del cacao y las metilxantinas, donde las metilxantinas ayudan a aumentar los niveles de epicatequina en plasma, mejorando los efectos vasculares de los flavanoles. Se ha informado que las cantidades de nutrientes de teobromina en las CGC son de 5 a 7 veces mayores que la cafeína (Rojo-Poveda et al., 2019). Así como con los polifenoles, varias técnicas para optimizar la extracción de metilxantinas de CGC han sido propuestas (Baggott et al., 2013; Hartati, 2010; Jokić et al., 2019, 2018).

### **3.5.3 Fibra Dietética**

Después de los polifenoles, la fibra dietética tiene una elevada valorización en la industria de alimentos y bebidas. Existe una elevada demanda de fibra dietética (FD) como suplemento para una gran parte de productos, por lo que los subproductos del cacao CVC y CGC podrían tener una importante recepción en este sector (Grillo et al., 2019). Productos como galletas, pasteles y suplementos con sabor a chocolate bajos en calorías y altos en fibras son ejemplos de productos de elevada demanda en el sector alimenticio que se podrían producir con las fracciones ricas en este compuesto (Grillo et al., 2019). La FD es un ingrediente económico, bajo en calorías que incrementa el efecto de saciedad, con la consecuente reducción de la ingesta de comida con varios beneficios para la salud humana asociados a la reducción de peso. Está presente en los subproductos del cacao en rangos desde 18.3-59.0 % (Campos-Vega, Nieto-Figueroa, & Oomah, 2018). Se han

realizado numerosos estudios del uso de la FD de cacao a nivel de la industria de panadería como sustituto al cacao en polvo y a la harina de trigo, estos han mostrado una adecuada aceptabilidad, mejoras en la actividad antioxidante, compuestos fenólicos, contenido de fibra total y contenido de proteína (de Barros et al., 2020). Se aplicó fibra de cacao combinada con glucósidos del esteviol en la elaboración de panecillos bajos en calorías reemplazando totalmente al cacao en polvo utilizado originalmente. Los resultados fueron incremento en la firmeza, la porosidad y la fibra dietética total y no se observaron efectos adversos en la calidad y la aceptación de los panecillos aún con el efecto de decrecimiento en la elasticidad, cohesión y ligereza (Karp, Wyrwisz, Kurek, & Wierzbicka, 2017). Se ha indicado una elevada cantidad de fibra total (54,3%) en el polvo de CGC en un proceso patentado, las aplicaciones de interés son en la elaboración de conos de helado y productos a base de chocolate (Bernaert & De Ruyscher, 2016). Así mismo, su aplicación como ingrediente de reemplazo de la harina de trigo fue evaluada en la elaboración de muffins ricos en fibra (6,17 %) con la sustitución de harina de trigo (18 %) por fibra total de cacao en polvo (73 %) y se conservaron en un paquete de atmósfera modificada (92 % CO<sub>2</sub>). Los resultados mostraron que es posible disminuir el deterioro y la disminución de la calidad de los muffins realizando esta sustitución (Wyrwisz et al., 2017). La disminución en el contenido de gluten húmedo fue registrado en la masa de galletas en donde se sustituyó la harina de trigo por fibra de cacao en rangos del 15%-20 %, también se logró mejorar la extensibilidad y elasticidad con la adición de emulsionantes, por otro lado, la temperatura de gelatinización incrementó, así como también la viscosidad máxima (Kobets, Arpul, Dotsenko, & Dovgun, 2016). En otro estudio se usaron CGC crudas para sustituir el 50% de grasa en bizcochos, este cambio permitió incrementar los niveles de fibra cruda, ceniza, actividad oxidante, contenido fenólico. Sin embargo, la elasticidad y la cohesión se redujeron en comparación con las muestras control (Öztürk & Ova, 2018, 2020). En el sector de los snacks se ha visto que el uso de las CGC puede ser combinados con sémola para mejorar sus características organolépticas y sensoriales al combinar CGC como ingrediente para la inclusión de FD (50% a 60%), proteína (11% a 18%) y polifenoles (1,8% a 5,8%), en la formulación de snacks extruidos elaborados de maíz (Toshkov, Simitchiev, & Nenov, 2019). El procesamiento de las cáscaras requiere de operaciones de molienda y tamizado en secuencia para poder obtener la fracción de FD requerida como materia prima, llegando a un contenido final entre 81,36% a 54,5% (Grillo et al., 2019). La aplicación de

reacciones de Maillard durante el proceso de tostado incrementa el contenido de fibra en las CGC (Panak Balentić et al., 2018). Se ha evidenciado que las modificaciones en la temperatura de tostado además promueven la interacción de polisacáridos, proteínas, polifenoles y productos de Maillard (Agus, Mohamad, & Hussain, 2018). La FD de las CVC y de las CGC incluida como parte de la composición de los alimentos promueve la reducción de afecciones como estreñimiento infantil, aparición de diabetes tipo II, diverticulitis y cáncer de intestino grueso (Panak Balentić et al., 2018). La FD obtenida mediante la acción enzimática a partir de las CGC evidencia que puede mejorar la capacidad de adsorción de la glucosa, inhibe la actividad de la  $\alpha$ -amilasa, incrementa la unión al colesterol y al colato de sodio. Se sugiere la fibra dietética total utilizada en proporciones adecuadas es un ingrediente bajo en calorías con beneficios sobre los niveles de colesterol y glucosa en sangre (Nsor-Atindana et al., 2012). El alcance de la aplicación de la FD extraída de los subproductos de las CVC y las CGC es amplio en el área de alimentos, particularmente en el sector de panadería. El consumo habitual de estos productos en reemplazo de los ingredientes comunes debe seguir siendo evaluado para probar su efectividad en la población diabética y con afecciones cardiovasculares y digestivas. De esta manera se puede incluir sus beneficios en el etiquetado e incrementar el valor en su comercialización (Campos-Vega et al., 2018).

#### **3.5.4 Pectina**

La pectina es un polisacárido que tiene características viscosas y aporta funciones como retención de agua, adsorción y retención de compuestos de un determinado producto por su capacidad para la formación de películas. Tiene propiedades espumantes, emulsionantes, gelificantes, espesantes encapsulantes y de imitación de grasas (Campos-Vega et al., 2018; Lu et al., 2018). Proporciona la sensación deseada en el gusto y la firmeza en el alimento, lo que le convierte en un buen sustituto de la grasa y el azúcar en las bebidas (Adetunji, Adekunle, Orsat, & Raghavan, 2017; Muñoz-Almagro, Valadez-Carmona, Mendiola, Ibáñez, & Villamiel, 2019; Wang et al., 2016). Los beneficios para la salud de la pectina son diversos y numerosos, se han reportado efectos positivos en la reducción de los niveles de glucosa en la sangre, estimulación del sistema inmunológico, menor riesgo de padecer trastornos del tracto digestivo y su potencial para reducir la incidencia del cáncer de colon (Ferreira-Lazarte, Kachrimanidou, Villamiel, Rastall, &

Moreno, 2018; Holck, Hotchkiss, Meyer, Mikkelsen, & Rastall, 2014; Naqash, Masoodi, Rather, Wani, & Gani, 2017). Las aplicaciones de la pectina como aditivo son amplias en la industria de alimentos, cosméticos y farmacéutica. Principalmente es utilizada como agente gelificante y estabilizador. Adicionalmente, se ha visto que tiene una ligera actividad antibacteriana frente a ciertas bacterias Gram positivas y Gram negativas, así como también actividad antifúngica (Adi-Dako et al., 2016). La pectina obtenida de las CVC podría servir como un material de utilidad estructural para la liberación de fármacos, inmunomoduladores, sustituto de la goma debido a sus propiedades pseudoplásticas y actividades biológicas. En cuanto a las aplicaciones en el área de alimentos, la pectina es un buen material para fabricar películas comestibles con propiedades fisicoquímicas mejores a las obtenidas con el efecto plastificante del sorbitol (Darni, Utami, Septiana, & Fitriana, 2017). La pectina encontrada en el jugo de la pulpa del cacao (1.33%) se compara con el de algunas frutas como manzanas y limones y se le considera de elevada calidad y valor comercial, por esta razón podría tener un potencial en la formulación de confituras, mermeladas, jugos mixtos que pueden permanecer estables en su almacenamiento. De igual manera su contenido de azúcares fermentables puede ser aprovechado en la elaboración de ginebra, brandy, vino y vinagre (Oddoye, Agyente-Badu, & Gyedu-Akoto, 2013). El inconveniente del aprovechamiento de la pectina de la pulpa del cacao es que ésta tiende a descomponerse durante el proceso de la fermentación por la presencia de enzimas de los microorganismos involucrados que lo degradan (Meersman et al., 2017). Por otro lado, las propiedades fisicoquímicas de este polisacárido dependen del proceso de extracción al que es sometido, y por tanto sus beneficios en las aplicaciones (Chan & Choo, 2013; Muñoz-Almagro et al., 2019; Rodsamran & Sothornvit, 2019). La pectina es extraída comúnmente mediante el uso de ácidos minerales fuertes (sulfúrico, nítrico y clorhídrico) a elevadas temperaturas durante largos períodos de tiempo (Adetunji et al., 2017; Marić et al., 2018). En consecuencia, este proceso acarrea problemas como la degradación de la pectina, así como problemas ambientales por la necesidad de eliminar contaminantes peligrosos y potencialmente tóxicos que requieren de remoción de los extractos de pectina para que puedan ser aceptados para el consumo (Minjares-Fuentes et al., 2014). Una alternativa para este tipo de tratamientos es el uso de ácidos orgánicos (ácido cítrico y acético), algunos de estos métodos se muestran en la Tabla 7. Por su baja capacidad de hidrolización y una menor despolimerización de polisacáridos tienen ventaja sobre los ácidos fuertes, el

inconveniente es que este proceso toma mucho tiempo (Marić et al., 2018; Mzoughi et al., 2018; Wikiera, Mika, Starzyńska-Janiszewska, & Stodolak, 2015).

**Tabla 6.** Métodos de obtención de pectina.

Fuente	Método	Rendimientos de Pectina	Co-productos resultantes	Referencia
Cáscara de la vaina de cacao	Hidrólisis con ácido cítrico o acético	7,62 %	Metoxilo (18.12 % -15.5%). Ácido galacturónico (83.1%)	(Laksmono & Soemargono, 2018; Marsiglia, Ojeda, Ramírez, & Sánchez, 2016).
	hexano Soxhlet con reflujo con ácido cítrico (pH 3), a 70 °C con tiempo de extracción de 95 min	8.82%	71.88% esterificación, 26,86% ácido galacturónico	(Guerrero, Suárez, & Orozco, 2017).
	pH 2.5, 95 °C, durante 45 min	8.1%		(Priyangini, Walde, & Chidambaram, 2018)
Cáscara de granos de cacao	Ácido cítrico, con extracción asistida por microondas (EAM) y etanol al 96% para su precipitación Los ácidos cítrico y clorhídrico también son compatibles con el EAM, y etanol al 96% para su precipitación	42.3%	humedad: 8,08%; ceniza: 5 %, metoxilo: 6,51 %, galacturonato: 58,08 %	(Sarah, Hanum, Rizky, & Hisham, 2018).
Cáscara de la vaina de cacao	Con ácidos cítrico y clorhídrico y EAM.	42%		(Pangestu, Amanah, Juanssilfero, Yopi, & Perwitasari, 2020).
	Con agua subcrítica	10.9%		(Muñoz-Almagro, Valadez-Carmona, Mendiola,

La integración de procesos que proporcionen extractos de alta calidad mediante el uso de solventes alternativos a los solventes convencionales, así como el uso de recursos vegetales renovables (los mismos subproductos de la industria del cacao), puede ser una alternativa adecuada para mejorar los rendimientos de producción de pectinas (Tabla 6). La optimización de métodos para la extracción de pectina de alta calidad a partir de residuos de cacao es un área de investigación en curso, donde se requiere de la incorporación de métodos innovadores, eficientes y sostenibles para cerrar los ciclos de producción. Algunas de estas alternativas, al igual que para la obtención de polifenoles involucran el uso de métodos de extracción más amigables con el medio ambiente (Figura 5) como es la extracción con agua subcrítica, que ha permitido obtener pectina a partir de las CVC con un mayor rendimiento, mayor contenido de ácido galacturónico y mayor grado de esterificación de metilo. En esta técnica se utiliza agua supercrítica en reemplazo de la extracción convencional con ácido cítrico (Muñoz-Almagro et al., 2019). Así mismo la extracción asistida por microondas (EAM), extracción con líquidos presurizados, extracción con fluidos supercríticos, extracciones asistidas con ultrasonido, cavitación hidrodinámica, técnicas de ruptura eléctrica como extracciones asistidas con campos eléctricos pulsados y descargas eléctricas de alto voltaje son técnicas que están siendo evaluadas y que en un futuro podrían ser utilizados en una escala industrial para la extracción de este tipo de compuestos con alta valorización (Ameer, Shahbaz, & Kwon, 2017; Chemat et al., 2017; Okiyama et al., 2017).

**Tabla 6.** Composición química de las fracciones de una mazorca de cacao.

	Cáscara de la vaina o mazorca (CVC)	Granos	Mucílago/Pulpa	Cáscara de los granos (CGC)
Carbohidratos	29.04-32.3 <sup>a</sup>		10-7 - 68.35 <sup>a</sup>	17.8-23.2 <sup>c</sup>
	17.4-47.0 <sup>b</sup>			3± 2 (No de fibra) <sup>f</sup>
Azúcares fermentables			9-13 <sup>a</sup>	
Celulosa	24-35 <sup>a</sup>	2-3 <sup>a</sup>		
Hemicelulosa	8.7-11 <sup>a</sup>			
Pectina	6.1-9.2 <sup>a</sup>		0.57-1.5 <sup>a</sup>	4.7-6.0 <sup>c</sup>
	6.1-12.6 <sup>b</sup>			
Lignina	14.6-23.38 <sup>a</sup>			42.28-45.61 <sup>a</sup>
	14.7-38.8 <sup>b</sup>			32.41 <sup>c</sup>
Proteínas	4.21-10.74 <sup>a</sup>	10-15 <sup>a</sup>	0.4-5.5 <sup>a</sup>	15.9 <sup>a</sup>
				15.79-18.1 <sup>c</sup>
				6.2 ± 0.8 <sup>d</sup>
				18.1 ± 8.1 <sup>e</sup>
				17.0 ± 0.7 <sup>f</sup>
Grasa	1.5-2.24 <sup>a</sup>	30-32 <sup>a</sup>	1.91-3.54 <sup>a</sup>	8.49: C18:1 (28.16); C16:0 (22.27); C18:0 (12.05) <sup>a</sup>
	0.6-4.7 <sup>b</sup>			2.02-6.87 <sup>c</sup>
				1.8± 0.3 <sup>d</sup>
				6.8 ± 2.5 <sup>e</sup>
				18.2 ± 0.6 <sup>f</sup>
Taninos	5.2 <sup>a</sup>			
Agua		32-39 <sup>a</sup>		4.0 ± 0.1 <sup>d</sup>
				10.1 ± 6.0 <sup>e</sup>



				9.6 ± 0.3 <sup>f</sup>
Triacilgliceroles (TAG)		95 <sup>a</sup>		
Diacilgliceroles (DGA)		0.08		
Lípidos Polares (PL)		0.04		
Ácidos Grasos Libres (FFA)		0.04		
Monoacilgliceroles (MAG)		<1 <sup>a</sup>		
Albúminas solubles en agua (WSA)		52 <sup>a</sup>		
Globulinas solubles en sal (SSG)		43 <sup>a</sup>		
Almidón		4-6 <sup>a</sup>		
Pentosanos		4-6 <sup>a</sup>		
Sacarosa		2-3 <sup>a</sup>		
Polifenoles	4.6-6.9 g GAE (equivalente de ácido gálico)/100 g <sup>b</sup>	5-6 <sup>a</sup>		1.32-5.78 g GAE/100 g <sup>c</sup> 1.82 ± 8.4 <sup>e</sup> Contenido total de fenoles 3.12–94.95 <sup>k, i, j</sup> Contenido total de flavonoides 1.65–40.72 <sup>k, l, g</sup> Contenido total de taninos 1.70– 25.30 <sup>k, h, j g</sup>

Metilxantinas				
Teobromina (THE)		1-2 <sup>a</sup>		0.3 <sup>a</sup>
Cafeína		0.04		
Ácidos orgánicos (OrA)		0.04	Málico, láctico, oxálico <sup>a</sup>	
Minerales			Ca, K, Mg, Na, P <sup>a</sup>	
Ceniza	5.9-13 <sup>b</sup>			5.17 <sup>a</sup>
				5.96-11-42 <sup>c</sup>
				6.0 ± 0.1 <sup>d</sup>
				8.1 ± 3.9 <sup>e</sup>
				6.3 ± 0.06 <sup>f</sup>
Fibra dietética total	18.3-59.0 <sup>b</sup>			18.6-60.6 <sup>c</sup>
				60.6 ± 6.4 <sup>d</sup>
				Fibra soluble: 7.03 ± 0.03 <sup>f</sup>
				Fibra insoluble: 39.4 ± 0.2 <sup>f</sup>

Modificado de: Modificado de (a: Gutiérrez-Macías et al., 2021; b: Campos-Vega et al., 2018; Lu et al., 2018; c: Vásquez et al., 2019; d: Mellinas et al., 2020; e: Arlorio et al., 2005, f: Okiyama, Soares, Toda, Oliveira, & Rodrigues, 2019; g: Barbosa-Pereira, Guglielmetti, & Zeppa, 2018; h: Bonvehí & Jordà, 1998; i: Lecumberri et al., 2007; j: Nsor-Atindana, Zhong & Mothibe, 2012; k: Rojo-Poveda et al., 2019)

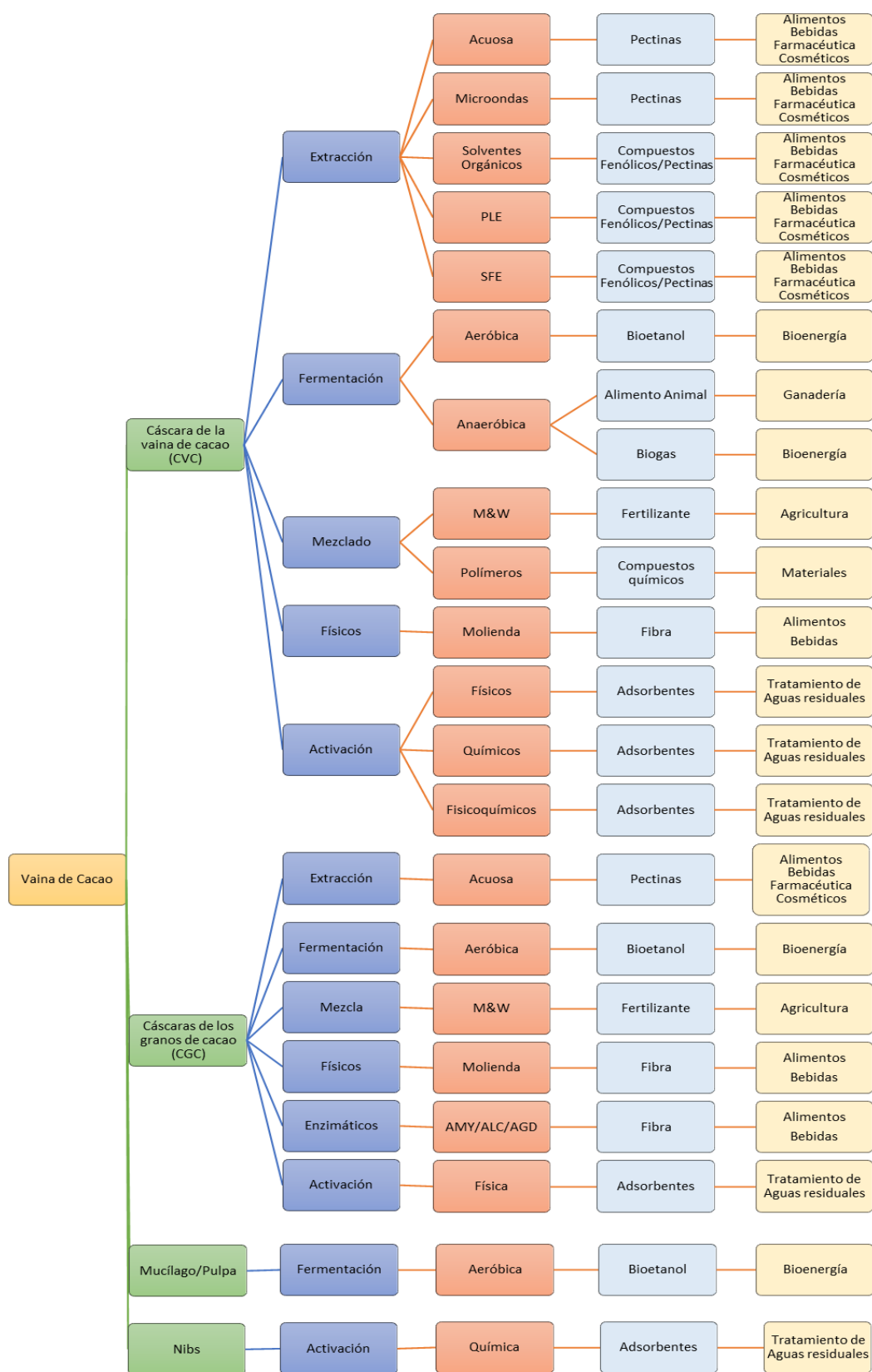


Figura 5. Estrategias de valorización de residuos y subproductos de la mazorca de cacao para la obtención de productos con valor añadido. ALC, alcalasa; AMY, amilasa; ADG, amiloglicosidasa; M&W, estiércol y residuos; PLE, extracción de líquidos a presión; SFE, extracción con fluido supercrítico. Las estrategias de valorización pueden incluir más de un tratamiento, aquí se toma en cuenta al más comúnmente utilizado. Fuente: Gutiérrez-Macías et al., 2021

### 3.6 Aplicaciones de los subproductos del cacao en la industria alimenticia.

#### 3.6.1 Nutraceuticos y alimentos funcionales

Las propiedades beneficiosas para la salud de los subproductos del cacao, específicamente de las CVC y las CGC hacen que puedan ser valorizadas dentro del mercado de los nutraceuticos y alimentos funcionales. En las Tablas 7 y 8 se enlistan algunas de estas aplicaciones y usos. La efectividad de su uso está ligada a la conservación de la estructura molecular del principio activo, por lo que el método utilizado para obtener el extracto que se aplicará debería ser evaluado en función de la aplicación a la que se destine.

**Tabla 7.** Aplicaciones de algunos de los componentes con bioactividad de los subproductos del cacao.

Aplicación	Mecanismo de acción	Referencia
Antibacteriana	Actividad inhibidora contra la glucosiltransferasa (GTF) de <i>S. mutans</i> . → Caries dental	(K. H. Kim et al., 2004)
Antiviral	Actividad anti-VIH a través de la inhibición de la adsorción del virus y, por tanto, inhibición del efecto citopático sobre las células MT-2 y MT-4 (altamente sensibles al VIH-1) cuando se tratan con 31,2-250 g DW CBS/mL. Inhibición de la formación de sincitios entre células MOLT-4 no infectadas e infectadas por VIH (línea de células T linfoblastoides).	(Unten et al., 1991)
Hipolipidémica e Hipocolesterolémica	Acción hipolipemiante y reductora del colesterol <i>in vivo</i> : Reducción del colesterol total y de lipoproteínas de baja densidad y reducción de la peroxidación lipídica en suero e hígado. Fracción mayoritariamente soluble de la fibra dietética.	(Lecumberri, Goya, et al., 2007)
Anticancerígena	Se ha demostrado que presentan una acción antiproliferativa <i>in vitro</i> para las células cancerosas y la inhibición de varios procesos característicos de la carcinogénesis. Las fracciones polifenólicas de CBS reducen la síntesis de ADN de las células cancerosas y la inhibición de la comunicación intracelular de unión gap. Extracto metanólico seco de CBS (5 g/200 mL). Acción antiproliferativa contra líneas celulares de cáncer de mama, hígado, colon, pulmón y cuello uterino. Polvos de fibra dietética soluble (FDS), fibra dietética insoluble (FDI) y fibra dietética total (FDT) de CGC Capacidad de unión de los ácidos biliares (potenciales cancerígenos) dando como resultado su desintoxicación.	(Lee, Hwang, Kang, Kim, & Lee, 2005) (Baharum, Akim, Taufiq-Yap, Hamid, & Kasran, 2014) (Zainal, B.; Abdah, M.; Taufiq-Yap.; Y. Roslida; A. Rosmin, 2016) (Zainal et al., 2016)

Antidiabética	Asociada con la capacidad de los de azúcar de sus fracciones de fibra polifenoles de CBS para inhibir diferentes enzimas de degradación de glucosa y la retención. Retención de azúcar en la fracción de fibra dietética soluble.	(Rojo-Poveda et al., 2019) (Lecumberri, Mateos, et al., 2007)
Potencial neuroprotector, antiinflamatorio,	Acción protectora frente al daño oxidativo por isquemia en células neuronales de fenotipo diferenciado. Gran contenido en fitoprostanos (474,3 ng/g DW CBS) fitofuranos (278,0 ng/g peso seco CGC) con actividad citoprotectora en células cerebrales inmaduras e implicadas en procesos antiinflamatorios. Prevención de la liberación de IL-8 (citocina proinflamatoria) inducida por mezcla de oxisterol en modelos de células intestinales Caco-2 y prevención de respuestas exageradas de los receptores tipo toll 2 y 4 (TRL2 y TRL4), que pueden contribuir a inducir inflamación	(Arlorio et al., 2005)  (Ruesgas-Ramón et al., 2019)  (Rossin et al., 2019)
Antiobesidad.	Modulación de la adipogénesis e inhibición de la producción de adipocinas (responsables de los procesos de inflamación y resistencia a la insulina).	(Rebollo-Hernanz, Zhang, Aguilera, Martín-Cabrejas, & Mejia, 2019)

**Tabla 8.** Componentes de los subproductos de cacao que pueden ser utilizados como ingrediente o aditivo alimentario

Componente	Uso	Productos en donde se puede aplicar	Referencia
Fibra y polifenoles.	Como harina de cacao molida o como extractos de fibra obtenidos después del tratamiento con enzimas.	Productos horneados como galletas y pan, para aumentar su contenido de fibra y darles propiedades antioxidantes.	(Martínez-Cervera, Salvador, Muguerza, Moulay, & Fiszman, 2011; Öztürk & Ova, 2018)
Compuestos aromáticos clave para el cacao y el chocolate	Brinda propiedades estructurales particulares a los productos generados y da un valor añadido al producto final Sustituto de grasas, reemplazando hasta un 50 % y un 70 % de aceite vegetal. Es un sustituto de bajo costo del cacao o el saborizante de cacao	Tortas funcionales y bollos de chocolate.	

Polifenoles de la CGC, CVC y la pulpa.		Bebidas, como refrescos carbonatados reparaciones para bebidas funcionales caseras. Bebidas lácteas hechas con CGC en combinación con otros subproductos del café y naranjas.	(Eggen, 1979)(Rojo-Poveda et al., 2019) (Quijano Avilés et al., 2016)
CGC	Ingrediente extra complementario del contenido nutricional.	Productos de bocadillos extruidos	(Jozinović et al., 2019)
CGC combinado con extractos de semilla de jamaica	Para evitar la oxidación de lípidos (más que con antioxidantes sintéticos: hidroxitolueno butilado (BHT) y el -tocoferol).	Carne de res	(Amin Ismail & Chew Lye Yee, 2006)
Extracto polifenólico de CGC	Mejora la estabilidad del aceite para obtener índices más bajos de generación de peróxidos y ácidos grasos libres después de usos repetidos	Aceite de soya	(Manzano et al., 2017)
	Producción de aditivos de humo líquido.	Alimentos varios	(Handojo & Indarto, 2020)
Extracto de polifenol CBS encapsulado	Evitar enranciamiento	Mermelada de aceite de oliva	(Hernández-Hernández et al., 2019)
Cenizas de CGC	cenizas de CBS como agente alcalinizante	Granos de cacao	(Osundahun, M.K. Bolade, & A.A Akinbinu, 2007)
Extracto polifenólico de CGC	Aplicación de extractos como recubrimiento sobre bioelastómeros	Envases y empaques con principios activos que preserven los alimentos durante más tiempo	(Tran et al., 2017)
CGC	Como sustrato en la fermentación en estado sólido de <i>Penicillium roqueforti</i> , para obtener endoglucanasa aplicada a la industria alimentaria.	extracción de jugos de frutas y verduras, en producción de bioetanol, en la producción de papel y celulosa, o	(Oliveira et al., 2019; Tu, 2015)

### **3.7. Proyecciones a futuro**

#### **3.7.1 Técnicas de encapsulación**

Dentro de las restricciones actuales para la aplicación de los componentes con actividad biológica que provienen de los subproductos del cacao, está la incertidumbre de su estabilidad con el tiempo, las condiciones de almacenamiento e incluso con la digestión del consumidor. La alternativa sugerida para solucionar este inconveniente es implementar técnicas de encapsulación de las CGC aplicadas al área de los alimentos. El uso de liposomas recubiertos de quitosano se realizó para preparar yogurt bebible, esta alternativa permitió la estabilización del contenido de fenoles presentes en las CGC durante el tiempo de almacenamiento e incrementó la accesibilidad biológica *in vitro* en términos de contenido fenólico total, contenido de flavonoides total y actividad antioxidante (Altin, Gültekin-Özgüven, & Ozcelik, 2018b, 2018a). El secado por aspersion con maltodextrina como agente estabilizante para la microencapsulación de los polifenoles de las CGC fue evaluado por Papillo et al. (2019). En el estudio se obtuvieron galletas con un contenido estable de polifenoles de las CGC luego de pasar por la fase de horneado y hasta después de 90 días de almacenamiento.

#### **3.7.2 Monitoreo de micotoxinas o metales pesados**

Se ha demostrado que las micotoxinas están presentes en las CGC en concentraciones generalmente aceptables (Rojo-Poveda et al. 2021). Sin embargo, estos niveles a veces pueden aumentar debido a diferentes factores. Se requiere de la implementación de técnicas para garantizar la seguridad del consumo humano de las fracciones bioactivas de las CGC. La presencia de micotoxinas o metales pesados debe ser monitoreada cuando se usan para el consumo humano y, en algunos casos, podrían ser necesarias estrategias de remediación. Por lo que varios estudios han centrado su interés en la remediación de micotoxinas, Amézqueta et al. (2008) eliminaron hasta el 98% de la ocratoxina A (OTA) contenida en las CGS con un método químico simple, empleando carbonato de sodio y carbonato de potasio en bajas concentraciones, mientras que Arlorio et al. (2001) realizaron una extracción Soxhlet con 2-propanol eliminando el 70,2% de la OTA contenida en las CGC. Aroyeun y, Adegoke (2007) encontraron una eficacia de reducción de OTA del 64,3 % al 95 % mediante el uso de aceites esenciales.

#### **3.7.3 Uso de la Biotecnología**

Las herramientas para lograr la eficiencia de los procesos de valorización de los subproductos del cacao pueden provenir de la Biotecnología. En la etapa de cultivo conviene establecer estrategias eficientes para obtener semillas de mayor calidad, donde se preserven las variedades de mayor valor en términos de las características organolépticas, para esto se trabaja con innovaciones en el cultivo de tejidos (Loor et al., 2018). En los procesos de fermentación por ejemplo el uso de microorganismos como bacterias, levaduras y hongos filamentosos específicos podría ser clave para obtener productos de elevado valor agregado en esta etapa. Por otro lado, las CGC y CVC sirven como fuente de nutrientes para hongos en los procesos de descomposición y degradación de sus componentes complejos como hemicelulosa, celulosa y lignina (Rahim, Kuswinanti, Asrul, & Rasyid, 2015). Este proceso puede ser aprovechado en procesos de fermentación en estado sólido o en fermentación sumergida para la obtención de compuestos de valor como por ejemplo goma xantan, enzimas y forraje. Los jugos o exudados de la pulpa (ricos en azúcares fermentables), son particularmente interesantes para la producción de bebidas alcohólicas mediante la fermentación con levaduras como *S. cerevisiae*, *Psilocybe mexicana*, *Candida carpophila* y *Khodamaea ohmeri* (Dias, Schwan, Freire, & Serôdio, 2007; Igbinador, 2009; Takrama, Kumi, Otoo, Addo, & Camu, 2015).

#### 4 CONCLUSIONES

La valorización de los subproductos del cacao comienza a beneficiar a todos los participantes de la cadena de producción, y sobre todo al medio ambiente. En una época en donde todas las industrias tienden a cerrar sus ciclos de producción mediante la reducción y eliminación de los residuos generados. Es fundamental encontrar maneras en que se puedan aprovechar los beneficios de las moléculas que poseen propiedades bioactivas. En el caso de los países productores se debe contemplar la implementación de estrategias que tengan significativos beneficios en la sostenibilidad de la cadena productiva desde la etapa del cultivo mismo del cacao. Tomando en cuenta que la mayor cantidad de residuos generados (CVC) en la obtención de los granos de cacao que se exportan se quedan en el lugar de origen, conviene realizar un monitoreo de todas las corrientes que se generan y las posibilidades de procesarlas dentro de las mismas instalaciones de pre-procesamiento. Este tipo de actividades tienen la posibilidad de crear mayor involucramiento local y de incrementar la sostenibilidad de la producción. Cada vez se tiene un mayor nivel de conocimiento en la manera como se puede incrementar la productividad en las diferentes etapas de la producción, de ahí que ya se cuenta con varias patentes registradas en esta área por lo que, la implementación de sinergias entre la academia, los productores, procesadores y organismos de control gubernamentales son de vital importancia. Del lado de la investigación, desarrollo e innovación, el enfoque está en encontrar



maneras eficientes, factibles y sostenibles de obtener los componentes con elevado valor y que sean seguras para el consumo a partir de cada una de las fracciones de los subproductos generados en la producción de cacao, como es el caso de la fibra dietética y los polifenoles. Tomando en cuenta que la demanda mundial de cacao y sus derivados continuará incrementando en los siguientes años, es una buena oportunidad para países productores como el Ecuador el preparar y adoptar todas las herramientas disponibles que le permitan maximizar los beneficios que la producción de cacao conlleva.

**Financiamiento:** Esta investigación no recibió financiamiento externo.

**Agradecimientos:** A la facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la UTA.

**Conflictos de interés:** El autor declara no tener conflicto de interés.

## REFERENCIAS

- Abbas, M., Saeed, F., Anjum, F. M., Afzaal, M., Tufail, T., Bashir, M. S., ... Suleria, H. A. R. (2017). Natural polyphenols: An overview. *International Journal of Food Properties*, 20(8). Retrieved from <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1220393>
- 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. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.05.100>
- 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. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.08.015>
- Adi-Dako, O., Ofori-Kwakye, K., Frimpong Manso, S., Boakye-Gyasi, M. el, 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. Retrieved from <https://doi.org/10.1155/2016/7608693>
- Afoakwa, E. O. (2010). Chocolate science and technology. *Choc. Sci. Technol*
- Agrocalidad (2021). Boletín informativo: Informe técnico de exportación de cacao [archivo PDF]. Recuperado de <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2022/02/Informe-cacao.pdf>
- Agus, B. A. P., Mohamad, N. N., & Hussain, N. (2018). Composition of unfermented, unroasted, roasted cocoa beans and cocoa shells from Peninsular Malaysia. *Journal of Food Measurement and*

- Characterization*, 12(4). Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9875-4>
- Altin, G., Gültekin-Özgüven, M., & Ozcelik, B. (2018a). Chitosan coated liposome dispersions loaded with cacao hull waste extract: Effect of spray drying on physico-chemical stability and *in vitro* bioaccessibility. *Journal of Food Engineering*, 223. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.12.005>
- Altin, G., Gültekin-Özgüven, M., & Ozcelik, B. (2018b). Liposomal dispersion and powder systems for delivery of cocoa hull waste phenolics via Ayran (drinking yoghurt): Comparative studies on *in vitro* bioaccessibility and antioxidant capacity. *Food Hydrocolloids*, 81. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.02.051>
- Ameer, K., Shahbaz, H. M., & Kwon, J.-H. (2017). Green Extraction Methods for Polyphenols from Plant Matrices and Their Byproducts: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(2). Retrieved from <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12253>
- Amézqueta, S., González-Peñas, E., Dachoupakan, C., Murillo-Arbizu, M., Lopez de Cerain, A., & Guiraud, J. P. (2008). OTA-producing fungi isolated from stored cocoa beans. *Letters in applied microbiology*, 47(3), 197-201.
- Amin Ismail, & Chew Lye Yee. (2006). Antioxidative Effects of Extracts of Cocoa Shell, Roselle Seeds and a Combination of Both Extracts on the Susceptibility of Cooked Beef to Lipid Oxidation. . *Journal of Food Technology*, 4: 10-15.
- Andrade, N. P. (2009). Manual de cultivo de cacao para la Amazonía ecuatoriana. Retrieved November 8, 2021 from <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/4786>
- ANECACAO National Association of Cocoa Exporters. (2019). *Production of Cocoa Bean Varieties in Ecuador*. Retrieved November 8, 2021 from <http://www.anecacao.com/>
- Ardhana, M., & Fleet, G. H. (2003). The microbial ecology of cocoa bean fermentations in Indonesia. *International Journal of Food. Elsevier*. Retrieved February 23, 2022 from [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(03\)00081-3](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(03)00081-3)
- Arlorio, M., Coisson, J. D., Restani, P., & Martelli, A. (2001). Characterization of Pectins and Some Secondary Compounds from *Theobroma cacao* Hulls. *Journal of Food Science*, 66(5). Retrieved from <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.tb04616.x>
- Arlorio, M., Coisson, J. D., Travaglia, F., Varsaldi, F., Miglio, G., Lombardi, G., & Martelli, A. (2005). Antioxidant and biological activity of phenolic pigments from *Theobroma cacao* hulls extracted with supercritical CO<sub>2</sub>. *Food Research International*, 38(8–9). Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.03.012>
- Aroyeun, S., & Adegoke, G. (2007). Reduction of ochratoxin A (OTA) in spiked cocoa powder and beverage using aqueous extracts and essential oils of *Aframomum danielli*. . *Afr. J. Biotechnol.* 6,

612.

- Arvelo Sánchez, M. Á., González, D., Maroto Arce, L. S., Delgado López, T., & Montoya Rodríguez, P. (2017). *Manual Técnico del Cultivo de Cacao Prácticas Latinoamericanas*. Retrieved from Costa Rica:
- Ashihara, H., Sano, H., & Crozier, A. (2008). Caffeine and related purine alkaloids: Biosynthesis, catabolism, function and genetic engineering. *Phytochemistry*, 69(4). Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2007.10.029>
- Baggott, M. J., Childs, E., Hart, A. B., de Bruin, E., Palmer, A. A., Wilkinson, J. E., & de Wit, H. (2013). Psychopharmacology of theobromine in healthy volunteers. *Psychopharmacology*, 228(1). Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s00213-013-3021-0>
- Baharum, Z., Akim, A., Taufiq-Yap, Y., Hamid, R., & Kasran, R. (2014). *In vitro* Antioxidant and Antiproliferative Activities of Methanolic Plant Part Extracts of *Theobroma cacao*. *Molecules*, 19(11). Retrieved from <https://doi.org/10.3390/molecules191118317>
- 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). Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s11947-017-2045-6>
- Bernaert, H. & D. R. I. (2016). Patent No. 9,375,024. . U.S.: Patent and Trademark Office.
- Bispo, M. S., Veloso, M. C. C., Pinheiro, H. L. C., de Oliveira, R. F. S., Reis, J. O. N., & de Andrade, J. B. (2002). Simultaneous Determination of Caffeine, Theobromine, and Theophylline by High-Performance Liquid Chromatography. *Journal of Chromatographic Science*, 40(1). Retrieved from <https://doi.org/10.1093/chromsci/40.1.45>
- Bonvehí, J. S., & Jordà, R. E. (1998). Constituents of Cocoa Husks. *Zeitschrift Für Naturforschung C*, 53(9–10). Retrieved from <https://doi.org/10.1515/znc-1998-9-1002>
- Brglez Mojzer, E., Knez Hrnčič, M., Škerget, M., Knez, Ž., & Bren, U. (2016). Polyphenols: Extraction Methods, Antioxidative Action, Bioavailability and Anticarcinogenic Effects. *Molecules*, 21(7). Retrieved from <https://doi.org/10.3390/molecules21070901>
- 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. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.09.022>
- Chan, S.-Y., & Choo, W.-S. (2013). Effect of extraction conditions on the yield and chemical properties of pectin from cocoa husks. *Food Chemistry*, 141(4). Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.06.097>
- Chemat, F., Rombaut, N., Meullemiestre, A., Turk, M., Perino, S., Fabiano-Tixier, A.-S., & Abert-Vian, M. (2017). Review of Green Food Processing techniques. Preservation, transformation, and

- extraction. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 41. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.04.016>
- Compañía Nacional de Chocolates S.A. (2012). *El cultivo de cacao*. Retrieved from Medellín:
- Cravotto, G., Mariatti, F., Gunjevic, V., Secondo, M., Villa, M., Parolin, J., & Cavaglia, G. (2018). Pilot Scale Cavitational Reactors and Other Enabling Technologies to Design the Industrial Recovery of Polyphenols from Agro-Food By-Products, a Technical and Economical Overview. *Foods*, 7(9). Retrieved from <https://doi.org/10.3390/foods7090130>
- Darni, Y., Utami, H., Septiana, R., & Fitriana, R. A. (2017). COMPARATIVE STUDIES OF THE EDIBLE FILM BASED ON LOW PECTIN METHOXYL &lt;br&gt; WITH GLYCEROL AND SORBITOL PLASTICIZERS. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 6(2). Retrieved from <https://doi.org/10.15294/jbat.v6i2.9707>
- de Barros, H. E. A., Natarelli, C. V. L., de Carvalho Tavares, I. M., de Oliveira, A. L. M., Araújo, A. B. S., Pereira, J., ... Franco, M. (2020). Nutritional Clustering of Cookies Developed with Cocoa Shell, Soy, and Green Banana Flours Using Exploratory Methods. *Food and Bioprocess Technology*, 13(9). Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02495-w>
- de Bruyne, K., Camu, N., de Vuyst, L., & Vandamme, P. (2010). *Weissella fabaria* sp. nov., from a Ghanaian cocoa fermentation. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 60(9), 1999–2005. Retrieved February 23, 2022 from <https://doi.org/10.1099/IJS.0.019323-0>
- de Filippis, L. F. (2015). Plant secondary metabolites. In *Plant-Environment Interaction*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd. Retrieved from <https://doi.org/10.1002/9781119081005.ch15>
- de La, J., Medina, C., Vargas Ortiz, M. A., Del, O. A., & Coronel, A. (n.d.). CACAO. *Infocafes.Com*. Retrieved February 22, 2022 from <http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/03/aa995s.pdf>
- Diario El Universo. (2005, July 19). Cacao CCN-51 se reconoce como de alta calidad. . *Sección Noticias Economía*. . Guayaquil. Retrieved December 7, 2021 from <http://www.eluniverso.com>
- Dias, D. R., Schwan, R. F., Freire, E. S., & Serôdio, R. dos S. (2007). Elaboration of a fruit wine from cocoa (*Theobroma cacao* L.) pulp. *International Journal of Food Science & Technology*, 42(3). Retrieved from <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01226.x>
- Eggen, I. B. (1979). US Patent No. US4156030A, Cocoa Shell Extract.
- el Gharas, H. (2009). Polyphenols: food sources, properties and applications - a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(12). Retrieved from <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.02077.x>
- Escobar, S., Santander, M., Useche, P., Contreras, C., & Rodríguez, J. (2020). Aligning strategic objectives with research and development activities in a soft commodity sector: A technological plan

- for colombian cocoa producers. *Agriculture (Switzerland)*, 10(5). Retrieved from <https://doi.org/10.3390/agriculture10050141>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2011. Cacao: Operaciones poscosecha. INPho – compendio poscosecha. 78 p
- FAOSTAT. (2018). FAOSTAT. Retrieved December 28, 2021, from <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
- Ferrazzano, G., Amato, I., Ingenito, A., Zarrelli, A., Pinto, G., & Pollio, A. (2011). Plant Polyphenols and Their Anti-Cariogenic Properties: A Review. *Molecules*, 16(2). Retrieved from <https://doi.org/10.3390/molecules16021486>
- Ferreira-Lazarte, A., Kachrimanidou, V., Villamiel, M., Rastall, R. A., & Moreno, F. J. (2018). *In vitro* fermentation properties of pectins and enzymatic-modified pectins obtained from different renewable bioresources. *Carbohydrate Polymers*, 199. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.07.041>
- Fersenth, León-Villamar, Jorge, ; Calderón-Salazar, Elsa, ; & Mayorga-Quinteros. (2016). Estrategias para el cultivo, comercialización y exportación del cacao fino de aroma en Ecuador. *Redalyc.Org*, 9, 45–55. Retrieved November 23, 2021 from <https://www.redalyc.org/pdf/5826/582663825007.pdf>
- Galanakis, C. M. (2018). Phenols recovered from olive mill wastewater as additives in meat products. *Trends in Food Science & Technology*, 79. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.010>
- Galanakis, C. M., Aldawoud, T. M. S., Rizou, M., Rowan, N. J., & Ibrahim, S. A. (2020). Food Ingredients and Active Compounds against the Coronavirus Disease (COVID-19) Pandemic: A Comprehensive Review. *Foods*, 9(11), 1701. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/foods9111701>
- Galanakis, C. M., Tsatalas, P., & Galanakis, I. M. (2018). Implementation of phenols recovered from olive mill wastewater as UV booster in cosmetics. *Industrial Crops and Products*, 111. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.09.058>
- Ginatta, G., Vignati, F., & Rodriguez, M. D. (2020). Iniciativa Latino-americana del Cacao.
- Grand View Research. (2019). Cocoa beans market size, share & trends analysis report by application (cosmetics, confectionery, pharmaceuticals), by product (butter, powder, liquor), by distribution channel (online, offline), and segment forecasts, 2019–2025. Retrieved December 28, 2021 from <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/cocoa-beans-market>
- Grand View Research. (2019). Cocoa beans market size, share & trends analysis report by application (cosmetics, confectionery, pharmaceuticals), by product (butter, powder, liquor), by distribution channel (online, offline), and segment forecasts.
- Grillo, G., Boffa, L., Binello, A., Mantegna, S., Cravotto, G., Chemat, F., ... Telysheva, G. (2019). Analytical dataset of Ecuadorian cocoa shells and beans. *Data in Brief*, 22. Retrieved from

<https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.11.129>

- Guerrero, G., Suárez, D., & Orozco, D. (2017). Implementación de un método de extracción de pectina obtenida del subproducto agroindustrial cascarilla de cacao. *Temas Agrarios*, 22(1). Retrieved from <https://doi.org/10.21897/rta.v22i1.919>
- Gutiérrez-Macías, P., Mirón-Mérida, V. A., Rodríguez-Nava, C. O., & Barragán-Huerta, B. E. (2021). Cocoa: Beyond chocolate, a promising material for potential value-added products. In *Valorization of Agri-Food Wastes and By-Products* (pp. 267–288). Elsevier. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-824044-1.00038-6>
- Handojo, L., & Indarto, A. (2020). Cocoa bean skin waste as potential raw material for liquid smoke production. *Environmental Technology*, 41(8). Retrieved from <https://doi.org/10.1080/09593330.2018.1520306>
- Hartati, I. (2010). Hydrotopic extraction of theobromine from cocoa bean shell. . *Momentum* .
- Heck, C. I., & de Mejia, E. G. (2007). Yerba Mate Tea (*Ilex paraguariensis*): A Comprehensive Review on Chemistry, Health Implications, and Technological Considerations. *Journal of Food Science*, 72(9). Retrieved from <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00535.x>
- Hernández-Hernández, C., Morales-Sillero, A., Fernández-Prior, M. Á., Fernández-Bolaños, J., Aguilera-Herrera, M. de la P., & Rodríguez-Gutiérrez, G. (2019). Extra virgin olive oil jam enriched with cocoa bean husk extract rich in theobromine and phenols. *LWT*, 111. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.027>
- Holck, J., Hotchkiss, A. T., Meyer, A. S., Mikkelsen, J. D., & Rastall, R. A. (2014). Production and Bioactivity of Pectic Oligosaccharides from Fruit and Vegetable Biomass. In *Food Oligosaccharides*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd. Retrieved from <https://doi.org/10.1002/9781118817360.ch5>
- ICCO. (2019). *Production of cocoa beans. ICCO Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics, Vol. XLV, No. 4.*
- Igbinadolor, R. O. (2009). Other Tropical Fruit Vinegars. In *Vinegars of the World*. Milano: Springer Milan. Retrieved from [https://doi.org/10.1007/978-88-470-0866-3\\_16](https://doi.org/10.1007/978-88-470-0866-3_16)
- Jokić, S., Gagić, T., Knez, Ž., Šubarić, D., & Škerget, M. (2018). Separation of Active Compounds from Food by-Product (Cocoa Shell) Using Subcritical Water Extraction. *Molecules*, 23(6). Retrieved from <https://doi.org/10.3390/molecules23061408>
- 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 & Biochemical Engineering Quarterly*, 33(2). Retrieved from <https://doi.org/10.15255/CABEQ.2018.1525>
- Jozinović, A., Panak Balentić, J., Ačkar, Đ., Babić, J., Pajin, B., Miličević, B., ... Šubarić, D. (2019). Cocoa husk application in the enrichment of extruded snack products. *Journal of Food Processing*

- and Preservation*, 43(2). Retrieved from <https://doi.org/10.1111/jfpp.13866>
- Karp, S., Wyrwisz, J., Kurek, M. A., & Wierzbicka, A. (2017). Combined use of cocoa dietary fibre and steviol glycosides in low-calorie muffins production. *International Journal of Food Science & Technology*, 52(4). Retrieved from <https://doi.org/10.1111/ijfs.13358>
- Kim, J., Lee, K. W., & Lee, H. J. (2011). Cocoa (*Theobroma cacao*) Seeds and Phytochemicals in Human Health. In *Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention* (pp. 351–360). Elsevier Inc. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375688-6.10042-8>
- Kim, K. H., Lee, K. W., Kim, D. Y., Park, H. H., Kwon, I. B., & Lee, H. J. (2004). Extraction and fractionation of glucosyltransferase inhibitors from cacao bean husk. *Process Biochemistry*, 39(12). Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2003.10.006>
- Kobets, O., Arpul, O., Dotsenko, V., & Dovgun, I. (2016). Use of dietary fibre concentrates in semi-finished biscuits technology. *Ukrainian Journal of Food Science*, 4(2). Retrieved from <https://doi.org/10.24263/2310-1008-2016-4-2-3>
- Kongor, J. E., Hinneh, M., Van de Walle, D., Afoakwa, E. O., Boeckx, P., & Dewettinck, K. (2016). Factors influencing quality variation in cocoa (*Theobroma cacao*) bean flavour profile—A review. *Food Research International*, 82, 44-52. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.01.012>
- Kovac, J. (2002). The Science of Chocolate (Beckett, Stephen T.). *Journal of Chemical Education*, 79(2). Retrieved from <https://doi.org/10.1021/ed079p167.2>
- Laksmono, R., & Soemargono, E. P. S. (2018). EXTRACTION OF PECTIN FROM COCOA PEEL WASTE. *Academic Research International Vol. 9(3) September 2018*.
- Lecumberri, E., Goya, L., Mateos, R., Alía, M., Ramos, S., Izquierdo-Pulido, M., & Bravo, L. (2007). A diet rich in dietary fiber from cocoa improves lipid profile and reduces malondialdehyde in hypercholesterolemic rats. *Nutrition*, 23(4). Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.nut.2007.01.013>
- Lecumberri, E., Mateos, R., Izquierdo-Pulido, M., Rupérez, P., Goya, L., & Bravo, L. (2007). Dietary fibre composition, antioxidant capacity and physico-chemical properties of a fibre-rich product from cocoa (*Theobroma cacao* L.). *Food Chemistry*, 104(3). Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.12.054>
- Lee, K. W., Hwang, E.-S., Kang, N. J., Kim, K. H., & Lee, H. J. (2005). Extraction and chromatographic separation of anticarcinogenic fractions from cacao bean husk. *BioFactors*, 23(3). Retrieved from <https://doi.org/10.1002/biof.5520230303>
- Loor Solórzano, R.G., Sotomayor Cantos, I.A., Jiménez Barragán, J.C., Tarqui Freire, O.M., Rodríguez Zamora, G.A., Casanova Mendoza, T.J., y Quijano Rivadeneira, G.C. (2018). INIAP-EETP-800 e

- INIAP-EETP-801 nuevos clones de cacao fino y de aroma con alto rendimiento. Mocache, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Tropical Pichilingue, Programa Nacional de Cacao y Café. (Plegable no. 436).
- 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. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2018.07.007>
- Vásconez, L. (2022, Febrero 11). El cacao rompió un récord en el 2021. *El Comercio*. Quito de <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/cacao-record-exportaciones-toneladas-2021.html>
- Manzano, P., Quijano, M., Barragn, A., Viteri, R., Chez, I., Hernández, J., & Valle, O. (2017). Polyphenols extracted from *Theobroma cacao* waste and its utility as antioxidant for food-grade vegetal oil. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 29(1). Retrieved from <https://doi.org/10.9755/ejfa.2016-04-388>
- 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*, 68, 102601. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102601>
- Marić, M., Grassino, A. N., Zhu, Z., Barba, F. J., Brnčić, M., & Rimac Brnčić, S. (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. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.03.022>
- Marsiglia, D. E., Ojeda, K. A., Ramírez, M. C., & Sánchez, E. (2016). Pectin extraction from cocoa pod husk (*Theobroma cacao* L.) by hydrolysis with citric and acetic acid. *International Journal of Chem Tech Research*, 9(7), 497-507.
- Martínez-Cervera, S., Salvador, A., Muguera, B., Moulay, L., & Fiszman, S. M. (2011). Cocoa fibre and its application as a fat replacer in chocolate muffins. *LWT - Food Science and Technology*, 44(3). Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.06.035>
- Meersman, E., Struyf, N., Kyomugasho, C., Jamsazzadeh Kermani, Z., Santiago, J. S., Baert, E., ... Steensels, J. (2017). Characterization and Degradation of Pectic Polysaccharides in Cocoa Pulp. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(44). Retrieved from <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b03854>
- Mellinas, A. C., Jiménez, A., & Garrigós, M. C. (2020). Optimization of microwave-assisted extraction of cocoa bean shell waste and evaluation of its antioxidant, physicochemical and functional properties. *LWT*, 127. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109361>
- Ministerio de Agricultura, G. y Pesca. (2010). Calidad de los alimentos vinculada con el origen y las



tradiciones e America Latina. .

- 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. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.02.013>
- Moratalla, R. (2008). Neurobiología de las metilxantinas. *Trastornos Adictivos*, 10(3). Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S1575-0973\(08\)76368-2](https://doi.org/10.1016/S1575-0973(08)76368-2)
- 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. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.04.040>
- Mzoughi, Z., Abdelhamid, A., Rihouey, C., le Cerf, D., Bouraoui, A., & Majdoub, H. (2018). Optimized extraction of pectin-like polysaccharide from Suaeda fruticosa leaves: Characterization, antioxidant, anti-inflammatory and analgesic activities. *Carbohydrate Polymers*, 185. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.01.022>
- Naqash, F., Masoodi, F. A., Rather, S. A., Wani, S. M., & Gani, A. (2017). Emerging concepts in the nutraceutical and functional properties of pectin—A Review. *Carbohydrate Polymers*, 168. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.03.058>
- Nazaruddin, R., Seng, L. K., Hassan, O., & Said, M. (2006). Effect of pulp preconditioning on the content of polyphenols in cocoa beans (*Theobroma cacao*) during fermentation. *Industrial Crops and Products*, 24(1). Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2006.03.013>
- Nielsen, D. S., Jakobsen, M., & Jespersen, L. (2010). *Candida halmiae* sp. nov., *Geotrichum ghanense* sp. nov. and *Candida awuaii* sp. nov., isolated from Ghanaian cocoa fermentations. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 60(6), 1460-1465. Retrieved February 23, 2022 from <https://doi.org/10.1099/ijs.0.016006-0>
- Nogales, J., Graziani de Fariñas, L., & Ortiz de Bertorelli, L. (2006). Cambios físicos y químicos durante el secado al sol del grano de cacao fermentado en dos diseños de cajones de madera<sup>1</sup>. *Agronomía Tropical*, 56(1), 5-20.
- Nsor-Atindana, J., Zhong, F., ... K. M.-P. J. of, & 2012, undefined. (2012). Quantification of total polyphenolic content and antimicrobial activity of cocoa (*Theobroma cacao* L.) bean shells. *Researchgate.Net*. Retrieved February 22, 2022 from <https://doi.org/10.3923/pjn.2012.672.677>
- Oddoye, E. O. K., Agyente-Badu, C. K., & Gyedu-Akoto, E. (2013). Cocoa and Its By-Products: Identification and Utilization. In *Chocolate in Health and Nutrition*. Totowa, NJ: Humana Press. Retrieved from [https://doi.org/10.1007/978-1-61779-803-0\\_3](https://doi.org/10.1007/978-1-61779-803-0_3)

- Okiyama, D. C. G., Navarro, S. L. B., & Rodrigues, C. E. C. (2017). Cocoa shell and its compounds: Applications in the food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 63. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.03.007>
- Oliveira, P. C., de Brito, A. R., Pimentel, A. B., Soares, G. A., Pacheco, C. S. V., Santana, N. B., ... Franco, M. (2019). COCOA SHELL FOR THE PRODUCTION OF ENDOGLUCANASE BY *Penicillium roqueforti* ATCC 10110 IN SOLID STATE FERMENTATION AND BIOCHEMICAL PROPERTIES. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 18(3). Retrieved from <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbi/revmexingquim/2019v18n3/Oliveira>
- Osundahun, O. F., M.K. Bolade, & A.A Akinbinu. (2007). Effect of Cocoa Shell Ash as an Alkalizing Agent on Cocoa Products. *Journal of Applied Sciences*, 7(12). Retrieved from <https://doi.org/10.3923/jas.2007.1674.1678>
- Öztürk, E., & Ova, G. (2018). Evaluation of Cocoa Bean Hulls as a Fat Replacer On Functional Cake Production. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 6(8). Retrieved from <https://doi.org/10.24925/turjaf.v6i8.1043-1050.1934>
- Öztürk, E., & Ova, G. (2020). Cocoa Bean Hulls: Effect on Nutritional Quality, Texture and Sensory Properties of Pound Cake. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 8(3). Retrieved from <https://doi.org/10.24925/turjaf.v8i3.560-567.2865>
- Panak Balentić, J., Ačkar, Đ., Jokić, S., Jozinović, A., Babić, J., Miličević, B., ... Pavlović, N. (2018, June 9). Cocoa Shell: A By-Product with Great Potential for Wide Application. *Molecules (Basel, Switzerland)*. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/molecules23061404>
- Pangestu, R., Amanah, S., Juanssilfero, A. B., Yopi, & Perwitasari, U. (2020). Response surface methodology for microwave-assisted extraction of pectin from cocoa pod husk (*Theobroma cacao*) mediated by oxalic acid. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(4). Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00459-4>
- Papillo, V. A., Locatelli, M., Travaglia, F., Bordiga, M., Garino, C., Coisson, J. D., & Arlorio, M. (2019). Cocoa hulls polyphenols stabilized by microencapsulation as functional ingredient for bakery applications. *Food Research International*, 115. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.004>
- Petti, S., & Scully, C. (2009). Polyphenols, oral health and disease: A review. *Journal of Dentistry*, 37(6). Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2009.02.003>
- da Costa, E. P., do Rosario Anjos, M., & Przygoda, M. (Eds.). (2020). Economic and Social Development (Book of Proceedings), 52nd International Scientific Conference on Economic and Social Development.
- Priyangini, F., Walde, S. G., & Chidambaram, R. (2018). Extraction optimization of pectin from cocoa

- pod husks (*Theobroma cacao* L.) with ascorbic acid using response surface methodology. *Carbohydrate Polymers*, 202. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.08.103>
- Puerari, C., Magalhães, K. T., & Schwan, R. F. (2012). New cocoa pulp-based kefir beverages: Microbiological, chemical composition and sensory analysis. *Food Research International*, 48(2), 634–640. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.06.005>
- Quelal-Vásconez, M. A., Lerma-García, M. J., Pérez-Esteve, É., Talens, P., & Barat, J. M. (2020). Roadmap of cocoa quality and authenticity control in the industry: A review of conventional and alternative methods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(2). Retrieved from <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12522>
- QuijanoAviles, M., FrancoAgurto, G., SurezQuirumbay, K., BarragnLucas, A., & ManzanoSantana, P. (2016). Linear Programming Formulation of a Dairy Drink Made of Cocoa, Coffee and Orange By-Products. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 28(8). Retrieved from <https://doi.org/10.9755/ejfa.2015-09-750>
- Rahim, I., Kuswinanti, T., Asrul, L., & Rasyid, B. (2015). Screening of Fungal Rot Isolates from Cocoa as Phosphate-Dissolving and their Growth Ability on Three Types of Media. *Procedia Food Science*, 3. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2015.01.010>
- Rasouli, H., Farzaei, M. H., & Khodarahmi, R. (2017). Polyphenols and their benefits: A review. *International Journal of Food Properties*. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1354017>
- Rebollo-Hernanz, M., Zhang, Q., Aguilera, Y., Martín-Cabrejas, M. A., & Mejia, E. G. (2019). Cocoa Shell Aqueous Phenolic Extract Preserves Mitochondrial Function and Insulin Sensitivity by Attenuating Inflammation between Macrophages and Adipocytes *In vitro*. *Molecular Nutrition & Food Research*, 63(10). Retrieved from <https://doi.org/10.1002/mnfr.201801413>
- Rodsamran, P., & Sothornvit, R. (2019). Microwave heating extraction of pectin from lime peel: Characterization and properties compared with the conventional heating method. *Food Chemistry*, 278. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.067>
- Rojo-Poveda, Barbosa-Pereira, Mateus-Reguengo, Bertolino, Stévigny, & Zeppa. (2019). Effects of Particle Size and Extraction Methods on Cocoa Bean Shell Functional Beverage. *Nutrients*, 11(4). Retrieved from <https://doi.org/10.3390/nu11040867>
- Rojo-Poveda, O., Ribeiro, S. O., Anton-Sales, C., Keymeulen, F., Barbosa-Pereira, L., Delporte, C., ... Stévigny, C. (2021). Evaluation of Cocoa Bean Shell Antimicrobial Activity: A Tentative Assay Using a Metabolomic Approach for Active Compound Identification. *Planta Medica*, 87(10/11). Retrieved from <https://doi.org/10.1055/a-1499-7829>
- Rossin, D., Barbosa-Pereira, L., Iaia, N., Testa, G., Sottero, B., Poli, G., ... Biasi, F. (2019). A Dietary

- Mixture of Oxysterols Induces *In vitro* Intestinal Inflammation through TLR2/4 Activation: The Protective Effect of Cocoa Bean Shells. *Antioxidants*, 8(6). Retrieved from <https://doi.org/10.3390/antiox8060151>
- Ruesgas-Ramón, M., Figueroa-Espinoza, M. C., Durand, E., Suárez-Quiroz, M. L., González-Ríos, O., Rocher, A., ... Vigor, C. (2019). Identification and quantification of phytoprostanes and phytofurans of coffee and cocoa by- and co-products. *Food & Function*, 10(10). Retrieved from <https://doi.org/10.1039/C9FO01528K>
- Sánchez, V., Zambrano, J., & Iglesias, C. (2019). La cadena de valor del cacao en América Latina y el Caribe. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5382>
- Sarah, M., Hanum, F., Rizky, M., & Hisham, M. F. (2018). Microwaveassisted extraction of pectin from cocoa peel. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 22(1), 012079.
- Takrama, J. F., Kumi, W. O., Otoo, G., Addo, K., & Camu, N. (2015). Optimization of cocoa pulp juice fermentation with yeast starter cultures of cocoa heap fermentations. *J. Agric. Sci. Food Technol.* 1, 22–33.
- Toshkov, N., Simitchiev, A., & Nenov, V. (2019). Physical characteristics of extrudates from corn semolina flavored with cocoa shells. *Food Science and Applied Biotechnology*, 2(1). Retrieved from <https://doi.org/10.30721/fsab2019.v2.i1.54>
- Tran, T. N., Heredia-Guerrero, J. A., Mai, B. T., Ceseracciu, L., Marini, L., Athanassiou, A., & Bayer, I. S. (2017). Bioelastomers Based on Cocoa Shell Waste with Antioxidant Ability. *Advanced Sustainable Systems*, 1(7). Retrieved from <https://doi.org/10.1002/adsu.201700002>
- Tu, C. (2015). Study about Stability of Cacao Husk Pigment and its Dyeing Properties on Cotton. *Key Engineering Materials*, 671. Retrieved from <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.671.133>
- Unten, S., Ushijima, H., Shimizu, H., Tsuchie, H., Kitamura, T., Moritome, N., & Sakagami, H. (1991). Effect of cacao husk extract on human immunodeficiency virus infection. *Letters in Applied Microbiology*, 13(6). Retrieved from <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.1991.tb00621.x>
- Valadez-Carmona, L., Plazola-Jacinto, C. P., Hernández-Ortega, M., Hernández-Navarro, M. D., Villarreal, F., Necochea-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. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.04.012>
- Vásquez, Z. S., de Carvalho Neto, D. P., Pereira, G. V. M., Vandenberghe, L. P. S., de Oliveira, P. Z., Tiburcio, P. B., ... Soccol, C. R. (2019). Biotechnological approaches for cocoa waste management: A review. *Waste Management*, 90, 72–83. Retrieved October 27, 2021 from

<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.04.030>

- Vauzour, D. (2014). Effect of flavonoids on learning, memory and neurocognitive performance: relevance and potential implications for Alzheimer's disease pathophysiology. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(6). Retrieved from <https://doi.org/10.1002/jsfa.6473>
- Vauzour, D., Rodriguez-Mateos, A., Corona, G., Oruna-Concha, M. J., & Spencer, J. P. E. (2010). Polyphenols and Human Health: Prevention of Disease and Mechanisms of Action. *Nutrients*, 2(11). Retrieved from <https://doi.org/10.3390/nu2111106>
- Villagómez García, S., & Moreta, F. A. (2013). Optimización y aprovechamiento del residuo (exudado del mucílago) de la almendra fresca del cacao (*Theobroma cacao L.*) CCN51 en la elaboración de vinagre. *192.188.51.94*. <http://192.188.51.94/index.php/tsafiqui/article/view/256>
- Voora, V., Bermúdez, S., & Larrea, C. (2019). Global market report: cocoa (p. 12). Winnipeg, MB, Canada: International Institute for Sustainable Development. Wachter Rodarte, M. D. (2011). Microorganismos y chocolate. *Revista Digital Universitaria*. UNAM.
- Wang, M., Huang, B., Fan, C., Zhao, K., Hu, H., Xu, X., ... Liu, F. (2016). Characterization and functional properties of mango peel pectin extracted by ultrasound assisted citric acid. *International Journal of Biological Macromolecules*, 91. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.06.011>
- Wikiera, A., Mika, M., Starzyńska-Janiszewska, A., & Stodolak, B. (2015). Development of complete hydrolysis of pectins from apple pomace. *Food Chemistry*, 172. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.132>
- Wyrwisz, J., Kurek, M., Karp, S., Moczowska, M., Stelmasiak, A., & Wierzbicka, A. (2017). Optimization of modified atmosphere gases composition used for storage of high-fiber muffins. *Journal of Food Process Engineering*, 40(3). Retrieved from <https://doi.org/10.1111/jfpe.12494>
- Zainal, B., Abdah, M., Taufiq Yap, Y., Roslida, A., Mohd Redzuan, S., & Kasran, R. (2016). Bioactivity-guided fractionation of potent anti-cancer properties from non-edible tissues of *Theobroma cacao*. *Malaysian Cocoa J.* 9, 170–181.