

Efectos de la fermentación y secado en el contenido de polifenoles y alcaloides del
cacao



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i5.2310>

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de investigación

*Efectos de la fermentación y secado en el contenido de polifenoles y alcaloides del
cacao*

Effects of fermentation and drying on the polyphenol and alkaloid content of cocoa

Efeitos da fermentação e secagem no teor de polifenóis e alcalóides do cacau

Luis Tito Menéndez-Cevallos ^I
luistitomenendez20@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-7074-3481>

Gabriel Alfonso Burgos-Briones ^{II}
ingquimico91@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-1291-4083>

Correspondencia: luistitomenendez20@hotmail.com

***Recibido:** 25 de julio 2021 ***Aceptado:** 30 de agosto de 2021 * **Publicado:** 30 de septiembre de 2021

- I. Maestría de Ingeniería Química, Instituto de Postgrado, Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Manabí, Ecuador.
- II. Departamento de Procesos Químicos, Alimentos y Biotecnología de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Manabí, Ecuador.

Efectos de la fermentación y secado en el contenido de polifenoles y alcaloides del cacao

Resumen

El objetivo de este trabajo fue analizar el efecto del proceso de fermentación y secado en el contenido de polifenoles y alcaloides (teobromina y cafeína) del cacao. Se utilizó una metodología fundamentada en el análisis descriptivo e histórico-comparativo. Mediante revisión sistemática literaria – científica se estructuró el arte en las siguientes secciones: el apartado de la introducción aborda la clasificación; la composición química; las operaciones pos cosecha (el pre acondicionamiento, la fermentación y el secado); y la transformación pos cosecha, de los granos de cacao. Además, incluye el apartado de las conclusiones, donde se pudo determinar que, el proceso de fermentación afecta paulatinamente el contenido de polifenoles, reduciéndolos conforme esta transcurre. Asimismo, el secado implica un proceso de fermentación residual, siendo más favorable el natural por menores pérdidas de compuesto fenólicos. Por otra parte, los alcaloides, contribuyen a la definición del perfil sensorial del producto terminado (notas amargas), aunque no sufren transformaciones químicas, durante la fermentación, sin embargo, aproximadamente el 30% se eliminan por difusión y migración al exterior del grano; además, el contenido de teobromina y cafeína no difieren significativamente entre cacao fermentado y seco.

Palabras clave: Compuestos fenólicos; genotipos; metilxantinas; pre acondicionamiento; transformación bioquímica.

Abstract

The objective of this work was to analyze the effect of the fermentation and drying process on the content of polyphenols and alkaloids (theobromine and caffeine) of cocoa. A methodology based on descriptive and historical-comparative analysis was used. Through a systematic literary-scientific review, the art was structured into the following sections: the introduction section deals with classification; the chemical composition; post-harvest operations (pre-conditioning, fermentation, and drying); and the post-harvest transformation of cocoa beans. In addition, it includes the conclusions section, where it could be determined that the fermentation process gradually affects the polyphenol content, reducing them as it proceeds. Likewise, drying implies a residual fermentation process, the natural one being more favorable due to lower losses of phenolic compounds. On the other hand, the alkaloids contribute to the definition of the sensory profile of the finished product (bitter notes), although they do not undergo chemical transformations, during fermentation, however,

Efectos de la fermentación y secado en el contenido de polifenoles y alcaloides del cacao

approximately 30% are eliminated by diffusion and migration to the outside of the grain; furthermore, the theobromine and caffeine content do not differ significantly between fermented and dry cocoa.

Keywords: Phenolic compounds; genotypes; methylxanthines; pre conditioning; biochemical transformation.

Resumo

O objetivo deste trabalho foi analisar o efeito do processo de fermentação e secagem sobre o teor de polifenóis e alcalóides (teobromina e cafeína) do cacau. Foi utilizada uma metodologia baseada na análise descritiva e histórico-comparativa. Por meio de uma revisão científico-literária sistemática, a arte foi estruturada nas seguintes seções: a seção introdutória trata da classificação; a composição química; operações pós-colheita (pré-condicionamento, fermentação e secagem); e a transformação pós-colheita dos grãos do cacau. Além disso, inclui a seção de conclusões, onde pode ser determinado que o processo de fermentação afeta gradualmente o teor de polifenóis, reduzindo-os à medida que avança. Da mesma forma, a secagem implica um processo de fermentação residual, sendo o natural mais favorável devido às menores perdas de compostos fenólicos. Por outro lado, os alcalóides contribuem para a definição do perfil sensorial do produto acabado (notas amargas), embora não sofram transformações químicas, durante a fermentação, no entanto, cerca de 30% são eliminados por difusão e migração para o exterior da o grão; além disso, o teor de teobromina e cafeína não difere significativamente entre o cacau fermentado e o cacau seco.

Palavras-chave: Compostos fenólicos; genótipos; metilxantinas; pré-condicionamento; transformação bioquímica.

Introducción

El cacao es originario de la Cuenca Amazónica, cultivado durante siglos en América Central, África y en Asia (Rusconi y Conti, 2010; y Gayi y Tsowou, 2015). Por otra parte Jahurul et al. (2013), la Worl Cocoa Foundation (2014), y Ginatta et al. (2018) articulan que las tres regiones lideran la producción mundial de cacao a granel (90%), aproximadamente 4 748,1 (miles de TM). A pesar que, durante la última década, el cultivo adelantó en África (3%) y en América un (11%), mermó (17%) en Asia.

Efectos de la fermentación y secado en el contenido de polifenoles y alcaloides del cacao

El cacao se produce principalmente en países en vía de desarrollo. En África Occidental, Costa de Marfil y Ghana son referentes globales y; en América Central y del Sur lo son Brasil y, Ecuador y Perú (ICCO, 2018). El despacho de este producto primario ha evidenciado cambios de importancia en las rentas locales, la economía y el mercado mundial (Arvelo et al., 2016; Witjaksono, 2016; Ingran et al., 2017; Bymolt et al., 2018 y Pino et al., 2018). Aunque los granos de cacao se produce generalmente en el hemisferio sur, la industrialización ocurre fundamentalmente en los países del norte (Pineda et al., 2012; Quarmin et al., 2012; Acierno et al., 2018; y Santander Muñoz et al., 2020).

América Latina encabeza la producción del cacao fino de aroma (80%), destinado a mercados de mayor capacidad de pago: la U.E. y América del Norte (Gómez-García y Vignati, 2015; y Breno y Almada, 2016). Siendo Ecuador y Perú reconocidos por el mejor grano y por el cacao fino de aroma (Andrade-Almeida et al., 2019); no obstante, Ecuador lidera con rendimiento superior al 62%; en extensión cultivada de 560 387 ha sobre todo en las provincias de Los Ríos, Manabí, Guayas y El Oro (Vera Chang et al., 2015; y Ginatta et al., 2018).

El cacao (*Theobroma cacao L.*), perteneciente a la familia *Malvaceae* alternativamente *Sterculiaceae* (Alverson et al., 1999), requiere un proceso (pos cosecha) sistemático y estricto que garantice la ocurrencia de los cambios físicos y bioquímicos. Para Rohan (1964), Rodríguez-Campos et al. (2011), y Afoakwa et al. (2011), las etapas más importantes de la pos cosecha son la fermentación y el secado, donde el grano pierde entre 55 al 64% de su peso (Komolafe et al., 2014), que promueven la transformación, disminución o síntesis de moléculas, que han de contribuir con las características sensoriales determinantes en la calidad y diferenciación del cacao en la industria del chocolate (Barrientos et al., 2019); sin embargo, Castro-Alayo et al. (2019) consideran que el proceso más importante en la cadena de valor es la fermentación.

Según Arvelo et al. (2017), y Beg et al. (2017) de los granos fermentados y secos de cacao (o sin fermentar), se obtienen subproductos (pasta o licor, torta, el polvo y manteca de cacao) y productos industrializados (chocolates y artículos elaborados a base de chocolate). Siendo fuentes de metilxantinas, compuestos fenólicos como epicatequina, polifenoles y antocianinas, y una gran cantidad de compuestos volátiles que tienen un impacto beneficioso en la salud humana (Latif, 2013; Oracz et al., 2015; y Batista et al., 2016).

Efectos de la fermentación y secado en el contenido de polifenoles y alcaloides del cacao

Los polifenoles, representan una clase de sustancias naturales en alimentos como frutas, vegetales y granos. Son los compuestos antioxidantes en los granos de cacao y sus productos de procesamiento (Giacometti et al., 2016; y D'Souza et al., 2017). Se les han atribuido varias funciones fisiológicas, incluyendo actividades antioxidantes y antimutagénicas; si bien, su biodisponibilidad puede variar entre los polifenoles y entre las fuentes dietéticas (Katz et al., 2011; y Batista et al., 2016).

Los efectos fisiológicos de las metilxantinas se conocen desde hace mucho tiempo y están principalmente mediados por los llamados receptores de adenosina (Nehlig, 2013). Mientras que la cafeína estimula efectivamente el efecto cerebral al aumentar la presión arterial y mejorar las reacciones psicomotoras; el agente diurético, la teobromina, actúa como un relajante muscular y un reductor de la presión arterial (Andújar et al., 2012).

Este trabajo, mediante una revisión sistemática de la literatura, tiene como objetivo analizar el efecto del proceso pos cosecha, enfocados en la fermentación y el secado, en el contenido de polifenoles y alcaloides, particularmente las metilxantinas (teobromina y cafeína) en el cacao.

Clasificación del grano de cacao

Se basa en el sabor, el cacao a granel o básico y el fino o de sabor (Afoakwa et al., 2008; y Chetschik et al., 2017), generando una categorización comercial que incluye cuatro genotipos principales, detallados en la Figura 1: (a) Forastero; (b) Criollo, cacao fino y de sabor; (c) Trinitario, híbrido entre Forastero y Criollo que puede considerarse como cacao a granel o fino; y (d) Nacional, nativo de Ecuador a pesar de estar clasificada como Forastero Amazónico, ya que produce cacao fino (sabor Arriba) resaltado por especias y notas aromáticas florales (Saltini et al., 2013; Badrie et al., 2015; Aprotosoai et al., 2016; y ICCO, 2017).

Figura 1. Vainas de las variedades de cacao (*Theobroma cacao* L.)



a. Forastero

b. Criollo

c. Trinitario

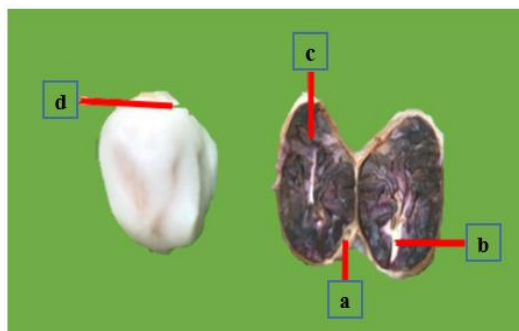
d. Nacional

Fuente: Tomado de Arvelo et al. (2017)

Efectos de la fermentación y secado en el contenido de polifenoles y alcaloides del cacao

El grano del cacao (Figura 2) se compone de cuatro partes principales: a) la testa o caparazón del grano (10-14% del peso seco); b) el embrión o germen; c) dos cotiledones (86-90% del peso seco); y d) la pulpa mucilaginosa que rodea el grano (40% de su peso fresco) (Kongor et al., 2016; y Santander Muñoz et al., 2020).

Figura 2. Estructura del grano de cacao.



Fuente: En base a Santander Muñoz et al. (2020)

Composición química del grano de cacao

Esta varía según el tipo de grano, el área geográfica y la madurez, así como el método de fermentación y secado (Saltini et al., 2013; y Bortolini et al., 2016). Los granos frescos están compuestos de azúcares (4–6% de almidón, 4–6% de pentosanos, 2–3% de celulosa, 2–3% de sacarosa); proteínas como la albúmina y la clase de vicilina (7S); globulina (10–15 %); polifenoles (10-20% en total, pero de este porcentaje, hay 59% de proantocianidinas, 37% de catequinas o flavan-3-oles y 4% de antocianinas); y alcaloides 4% (2,7% de teobromina y 1% de cafeína), compuestos químicos que de manera directa inciden en el sabor y palatabilidad de los granos y de manera indirecta sobre los precursores de aroma (Vázquez-Ovando et al., 2016; Kongor et al., 2016; De Taeye et al., 2016; Sulaiman et al., 2017 y Djikeng et al., 2018).

Los granos de cacao, cuando se cosechan, están rodeadas por un mucílago dulce, ácido y aromático que es agradable al paladar que se conoce como pulpa (Afoakwa et al., 2011). Su composición es 82–87% de agua, 10–15% de azúcares (glucosa, fructosa y sacarosa), 2–3% de pentosanos, 1–3% de ácido cítrico y 1–1.5% de pectina (Ascrizzi et al., 2017).

De hecho, la calidad y el sabor del cacao no se ven simplemente afectados por el genotipo y el origen geográfico, sino también por otros factores, como las condiciones de crecimiento, los tratamientos posteriores a la cosecha, donde se producen las mayores pérdidas de compuestos fenólicos, incluidos

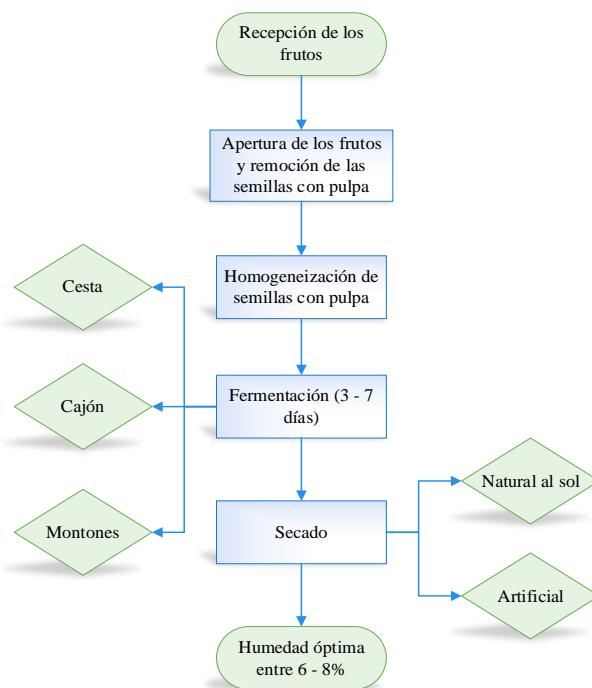
Efectos de la fermentación y secado en el contenido de polifenoles y alcaloides del cacao

los flavanoides, y el procesamiento industrial de los granos (Moreau et al., 2013; Kongor et al., 2016; y Barbosa-Pereira et al., 2019).

Operaciones pos cosecha

El pre acondicionamiento se lleva a cabo por los productores antes de abrir las vainas de cacao o después de realizar la extracción de los granos, y antes de la fermentación. Los reportados en la literatura son: el almacenamiento, el pre-secado, y despulpado (Afoakwa et al., 2008; Afoakwa et al., 2013; y Kongor et al., 2016). En la Figura 3, se puede observar la secuencia de estos procesos (tradicionales), comúnmente realizados en el lugar de la cosecha.

Figura 3. Procesos de fermentación y secado (tradicionales) del cacao



Fuente: En base a Efraim et al. (2010)

Afoakwa et al. (2011), Afoakwa, Quao, Budu, et al. (2011), Sulaiman et al. (2017), y Hinneh et al. (2018) mencionan el efecto del almacenamiento de la vaina de cacao sobre características físicas y químicas de los granos después de ser transformadas por fermentación espontánea. Se reduce la acidez en los granos fermentados y secos. Factor beneficioso para disminuir el sabor ácido que algunos tipos de cacao tienden a desarrollar.

A medida que aumenta el tiempo de almacenamiento, disminuyen los niveles de azúcares, grasas, proteínas y polifenoles reductores y no reductores como (-) - epicatequina y (+) - catequina;

Efectos de la fermentación y secado en el contenido de polifenoles y alcaloides del cacao

mejorando las propiedades sensoriales del cacao, debido a la reducción de la acidez, el amargor y la astringencia (Saltini et al., 2013; Schwan y Fleet, 2014; De Vuyst y Weckx, 2016).

Fermentación espontánea del cacao

Guehi et al. (2010), y Giacometti et al. (2015) indican que, las plataformas, montones, cestas y cajas (estos últimos se cubren con hojas de plátano), son los métodos de fermentación más utilizados. Teniendo el primero una tasa de fermentación bastante baja, adecuada para granos del tipo Criollo y Nacional (entre dos y tres días), e impropia para Forastero (superior a cinco días) (Cevallos-Cevallos et al., 2018).

Aunque la fermentación del cacao sigue siendo un proceso empírico, y se dé generalmente en condiciones ambientales naturales entre pequeños productores (Vázquez-Ovando et al., 2016; y John et al., 2020), su razón es alcanzar reacciones bioquímicas dentro del grano, que conducen a la formación de precursores de aroma, sabor y color, reducción de los gustos amargos y astringentes, y mejora de la apariencia física del cacao (Apriyanto et al., 2017).

La cantidad y composición de aminoácidos cambian, así como los azúcares reductores, la glucosa y fructosa, polifenoles y el pH. Sin embargo, el secado no simple eliminación de humedad, implica un proceso de fermentación residual (Beckett, 2009; Navia y Pazmiño, 2012; Moreau et al., 2013; Suazo et al. 2014; y Giacometti et al., 2015).

Secado del cacao

Completada la fermentación la humedad de los granos, que es aproximadamente 60%, se debe optimizar entre 6 - 8%. Humedad > 8% produce contaminación microbiana por crecimiento fúngico. Asimismo, < 6% podrían disminuir la calidad sensorial, ya que el producto es más susceptible a las fracturas y la pérdida de compuestos relevantes de aroma y sabor, también podría afectar al valor comercial que depende del peso del grano (Afoakwa et al., 2008; Zahouli et al., 2010; Harrington, 2011; Bernaert et al., 2012; y Krysiak et al., 2013).

El secado de los granos se realiza: tradicionalmente, esparciéndolos sobre hormigón, plataforma elevada, lona, etcétera, solar al aire libre y solar con un de techo de plástico durante algunos días. Son métodos económicos y ampliamente utilizados, con desventajas como el daño de los granos por roedores, por inconsistencia en las condiciones climáticas (la contaminación por el polvo debido al soplado del viento y la suciedad), y giro frecuente (Komolafe et al., 2014; Kumar et al., 2016; y Puello-Mendez et al., 2017). Y artificialmente, cuando las condiciones ambientales son adversas, se

Efectos de la fermentación y secado en el contenido de polifenoles y alcaloides del cacao

recurre a secadores mecánicos, los más empleados son del tipo Samoa o estufas de aire caliente (Vázquez-Ovando et al., 2016).

Transformación pos cosecha de los granos

La posible aparición de varios cambios bioquímicos dentro de la vaina, desde el momento de la cosecha hasta su apertura antes de la fermentación, no se puede pasar por alto. La duración del almacenamiento, la temperatura, la humedad relativa, la variedad de cacao, la edad de los árboles/vainas, el estado de maduración o maduración, entre otros, puede desempeñar un papel clave en la determinación de la medida en que estos cambios bioquímicos ocurren dentro de la vaina (Sulaiman et al., 2017; y Hinneh et al. 2018).

El procesamiento pos cosecha del cacao está mediada por una dinámica de reacciones catalizadas por una sucesión de microorganismos (levaduras y bacterias), que inoculan la pulpa espontáneamente y producen metabolitos como el etanol y los ácidos láctico y acético. Cuando estos se difunden en el grano de cacao, generan una disminución del pH (de 7 a 4,0 - 5,5); aunque, un pH óptimo para cacao de calidad es entre 5,0 y 5,4 (Eyamo Evina et al., 2016; John et al., 2016; y Homem et al., 2017).

Esto, a su vez, provoca la muerte del embrión del grano, la destrucción de estructuras subcelulares, y la liberación de enzimas endógenas; que catalizan la producción de péptidos y de aminoácidos a partir de proteínas de almacenamiento. Además, se produce la inversión de azúcares como la sacarosa y la posterior formación de azúcares reductores. Estos productos resultantes de reacciones enzimáticas de proteólisis e hidrólisis de los componentes del grano se consideran precursores del sabor (Leite et al., 2013; Moreau et al., 2013; De Vuyst y Weckx, 2016; y Erazo, 2019).

La fermentación: espontánea, entre tres a seis días de la masa de cacao causa una pérdida general del 80% de todos los polifenoles (Illegghems et al., 2012); y adecuada, asegura la liberación de precursores de sabor, cruciales para la formación de compuestos aromáticos, pero también imparte un "sabor fermentativo" derivado de ácidos, alcoholes, ésteres y cetonas producidos por levaduras, LAB (*Lactobacillus plantarum* y *Lactobacillus fermentum*) y AAB (especies como *Acetobacter pasteurianus* y *Gluconobacter frateurii*) (Crafack et al., 2014; y John et al., 2016).

Durante el secado, el contenido de polifenoles (componentes deseables en productos terminados) disminuye significativamente como efecto de la alta temperatura, la difusión de los componentes de los granos con agua evaporada y los procesos de pardeamiento enzimático (Ioannone et al., 2015; y Liu et al., 2015). Las oxidasas polifenólicas aún activas catalizan la transformación de polifenoles

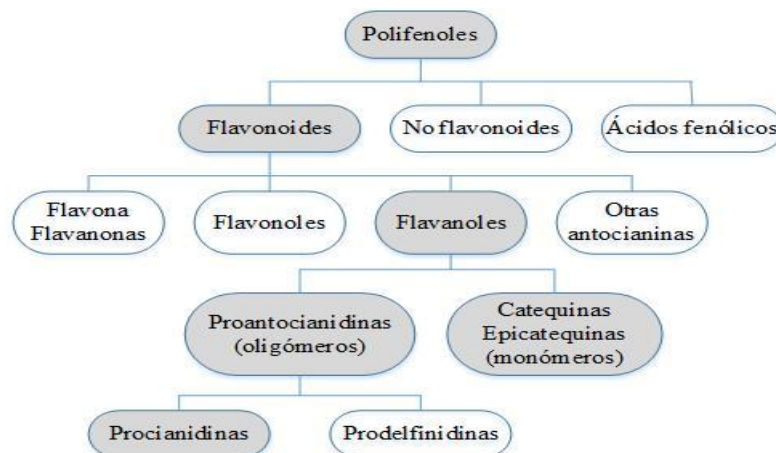
Efectos de la fermentación y secado en el contenido de polifenoles y alcaloides del cacao

en quinonas, que se someten a una condensación adicional con grupos amina y sulfhidrilo libres, lo que conduce a la síntesis de polímeros marrones (Afoakwa et al., 2013). Sin embargo, otros autores indican que el secado tiene un efecto mínimo sobre los niveles de epicatequina y catequina (Payne et al., 2010; y Pallares et al., 2016).

Aunque, Camu et al. (2008), y Aprotosoai et al. (2016) mencionan que los alcaloides no sufren transformaciones químicas durante la fermentación, aproximadamente el 30% se eliminan por difusión y migración al exterior del grano; además, que el sabor amargo del cacao y palatabilidad está influenciado principalmente por el contenido de purina (teobromina y cafeína), estimulantes naturales (Araujo et al., 2014; y Vázquez-Ovando et al., 2016).

Polifenoles. En los granos de cacao son almacenados en las células pigmentarias de los cotiledones, y le aportan colores que van desde el blanco hasta un morado oscuro, dependiendo de la cantidad de antocianinas almacenadas (Zapata et al., 2013; y Sulaiman et al., 2017). Se clasifican en diferentes grupos en función del número de anillos aromáticos y los elementos estructurales que unen estos anillos. Se hacen distinciones (Figura 4) entre flavonoides, no flavonoides y ácidos fenólicos (Peno-Mazzarino, 2012).

Figura 4. Clasificación de polifenoles, siendo las epicatequina, catequina y las procianidinas la clase predominante en cacao (indicado en gris).



Fuente: En base a Peno-Mazzarino (2012)

El cacao es rico en flavanoles (flavan-3-ols), que están presentes como monómeros, epicatequina y catequina o como oligómeros de epicatequina o catequina llamados procianidinas (Peno-Mazzarino, 2012). También se han encontrado en cantidades menores (+) - catequina, (+) - galocatequina y (-)

Efectos de la fermentación y secado en el contenido de polifenoles y alcaloides del cacao

epigallocatequina, flavonas (kaempferol, apigenina, luteolina y glucósidos) y ácidos fenólicos (clorogénico, cafeico, ácido siríngico, cumárico y ferúlico) (Kothe et al., 2013).

Por otra parte, Kothe et al. (2013), Bordiga et al. (2015), y Pedan et al. (2016) concuerdan que, en los frutos de cacao se distinguen tres tipos de polifenoles, catequinas o flavan-3-oles (37%); antocianinas (4%), responsables del color púrpura del grano; y proantocianidinas (58%), este último grupo se muestra mediante dímeros, trímeros u oligómeros de flavan-3,4-diol. Los flavanoles y las proantocianidinas están correlacionados con la calidad del sabor del cacao. Por lo tanto, el contenido más alto de los flavanoles como (+)-catequina y (-)-epicatequina es responsable de la amargura (no deseable). Mientras que, el sabor de la astringencia es más fuerte con el aumento de un contenido soluble de las proantocianidinas

(Brillouet y Hue, 2017; y Sulaiman et al., 2017).

Los polifenoles contribuyen a los olores verde y afrutado de los granos y representan entre el 10 y 20 % del peso seco (Sulaiman et al., 2017; y Djikeng et al., 2018). Su composición cambia significativamente bajo la influencia de altas temperaturas, pH, acceso al oxígeno, origen, genotipo, procesamiento del grano y grado de madurez (Jonfia-Essien et al., 2008; Kothe et al., 2013; Sirerol et al., 2016; De Taeye et al. 2016; y Urbańska et al., 2019).

El estudio de Efraim et al. (2010), con granos tipo Forastero, reveló que el contenido de compuestos fenólicos totales disminuyó un 35 y 59%, al tercer y séptimo día de fermentación (en cajas de poliestireno), respectivamente; y un 20% (Vázquez-Ovando et al., 2016). Esto es concordante con la proporcionalidad inversa del contenido de polifenoles totales y el tiempo de fermentación del cacao referida por (Payne et al., 2010). Asimismo, durante el secado el material fermentado, por tres y siete días, disminuyó en 10,8 y 19,1% y en 2,8 y 11,6%, secados al sol (durante 10 días) y al horno (por tres días a 35 °C), respectivamente.

Por otro lado, Pallares et al. (2016). Para la exploración, emplearon un clon de cacao CCN-51, determinando que la fermentación es la que mayor impacto genera en la variación del contenido de polifenoles totales y la capacidad antioxidante del clon; en ambos casos se observó un comportamiento decreciente en relación con el proceso fermentativo (disminución de 50,1% en el contenido de PT y de 58,3% en la CA). También determinaron que el secado natural tiene un efecto poco significativo en las variables de respuesta seleccionadas; reforzando lo mencionado con anterioridad por (Efraim et al., 2010).

Efectos de la fermentación y secado en el contenido de polifenoles y alcaloides del cacao

Alcaloides. Las metilxantinas, teobromina (3,7-dimetilxantina o 3,7-dihidro-3,7-dimetil-1H-purina-2,6-diona) y cafeína (1,3,7-trimetilpurina-2,6-diona), representan otro grupo de compuestos bioactivos de los granos de cacao (Afoakwa et al., 2008); registra valor entre 2,2 y 2,7% del peso en base seca de teobromina para tipo Forastero y hasta 1,5 % para Criollos. Así mismo, la cafeína, presenta un elevado contenido en granos de la variedad Criollo respecto a las variedades Forastero y Trinitario (Sotelo y Alvarez, 1991; y Aprotosoai et al., 2016). Están asociados con el amargor, su concentración está relacionada con la variedad y se modifica con el procesamiento (Vázquez-Ovando et al., 2016).

En la Tabla 1, se realiza una recopilación de investigaciones que determinaron el contenido porcentual de metilxantinas (teobromina y cafeína) en el cacao.

Tabla 1. Contenido de metilxantinas en granos de cacao, propuesto por varios investigadores

Cacao del tipo	Teobromina (%)	Cafeína (%)	Referencia
Forastero	2,5	0,5	(Sotelo & Alvarez, 1991)
Criollo	1,5	0,5	
Comercial	2,7	0,6	(Carlin-Sinclair et al., 2009)
Criollo	3,2	0,9	(Franco et al., 2013)
A granel	1,75	0,2	(Nehlig, 2013)
Clon Nacional ICS 60	0,44	0,4	(Zapata et al., 2013)
Clon Nacional ICS 1	0,28	0,05	
Forastero/ Amazónico	0,91	0,19	(Carrillo et al., 2014)
/Clones trinitarios	0,7	0,07	
Trinitario/Forastero	1,45	0,41	
Trinitario/Forastero	1,09	0,2	(Peláez et al., 2016)
Forastero	1,32	0,35	

Carrillo et al. (2014), y Peláez et al. (2016) coinciden al mencionar que la altitud es otro factor que puede afectar la composición química del grano cacao. El contenido de metilxantinas y la relación teobromina/ cafeína varía según el genotipo del cacao (Afoakwa et al., 2008; y Bortolini et al., 2016).

Efectos de la fermentación y secado en el contenido de polifenoles y alcaloides del cacao

Siendo la relación (Tb/Cf), un buen indicador para cuantificar las distintas cualidades de los tipos morfogeográficos del cacao (Trognitz et al., 2013).

Por otra parte, Peláez et al. (2016) indican la variación de estas metilxantinas (Tabla 2), posterior a los procesos tradicionales de fermentación hasta el secado.

Tabla 2. Contenido de teobromina (Tb) y cafeína (Cf) en granos de cacao frescos, fermentados (96 y 120 h) y secos.

Etapa/ proceso	Forastero	Trinitario	Forastero	Foastero	Trinitario	Forastero
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
	g Tb /100 g de cacao			g Cf /100 g de cacao		
Fresco	1,449 ± 0,004	1,088 ± 0,009	1,324 ± 0,074	0,410 ± 0,03	0,204 ± 0,01	0,350 ± 0,01
A 96 h	1,282 ± 0,003	1,002 ± 0,019	1,236 ± 0,081	0,277 ± 0,02	0,155 ± 0,00	0,182 ± 0,01
A 120 h	1,241 ± 0,011	0,952 ± 0,022	1,063 ± 0,043	0,210 ± 0,01	0,100 ± 0,00	0,139 ± 0,01
Secado	1,156 ± 0,005	0,885 ± 0,012	0,854 ± 0,011	0,200 ± 0,01	0,088 ± 0,00	0,087 ± 0,00

Fuente: Peláez et al. (2016)

Determinando que, hasta concluir la fermentación, el contenido de teobromina y cafeína disminuyó en promedio 16 y 46% y en 25 y 39% hasta el secado, respectivamente, en relación con los granos frescos; del mismo modo, otros informes refieren la reducción de polifenoles totales en 20% (Vázquez-Ovando et al., 2016); y del 30% en general para alcaloides (Camu et al., 2008; y Aprotosoai et al., 2016) durante la fermentación. Además, que el secado natural no posee efecto significativo en el contenido de polifenoles totales (Pallares et al., 2016) y que el contenido de cafeína no tiene diferencias significativas entre el cacao fermentado y seco (Peláez et al., 2016),

Conclusiones

Las reacciones bioquímicas que ocurren antes, entre y después de la fermentación del grano cacao están condicionadas por factores climáticos, el genotipo, la edad de los árboles/vainas, el estado de maduración, el pre acondicionamiento y procedimientos de fermentación y secado; aunque la fermentación sea producida empíricamente, se considera la fase más importante en la cadena de valor del cacao; por ello, sería interesante el diseño de sistemas de transformación que garanticen la seguridad y sistematización, para controlar las variables de bioprocesos y obtener un cacao más homogéneo y de calidad. Por otro lado, el secado no solo optimiza humedad, más bien es un tipo de fermentación residual.

Efectos de la fermentación y secado en el contenido de polifenoles y alcaloides del
cacao

Investigaciones han demostrado que los granos de cacao frescos tienen mayor contenido de polifenoles, teobromina y cafeína, que en otras etapas de procesamiento y, la proporcionalidad inversa del contenido de polifenoles totales y el tiempo de fermentación, donde se pierden compuestos fenólicos, ocurriendo menor pérdida durante el secado natural. Del mismo modo que, aunque los alcaloides no sufren transformaciones químicas durante la fermentación, aproximadamente el 30% se eliminan por difusión y migración y; que el contenido de teobromina y cafeína no tiene diferencias significativas entre cacao fermentado y seco.

Referencias

1. Acierno, V., Alewijn, M., Zomer, P., & Van, S. M. (2018). Making cocoa origin traceable: Fingerprints of chocolates using Flow Infusion - Electro Spray Ionization - Mass Spectrometry. *Food Control*, 85, 245–252. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.10.002>
2. Afoakwa, E. O., Kongor, J. E., Takrama, J., & Budu, A. S. (2013). Changes in nib acidification and biochemical composition during fermentation of pulp pre-conditioned cocoa (*Theobroma cacao*) beans. *International Food Research Journal*, 20(4), 1843–1853.
3. Afoakwa, Emmanuel Ohene, Paterson, A., Fowler, M., & Ryan, A. (2008). Flavor formation and character in cocoa and chocolate: A critical review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(9), 840–857. <https://doi.org/10.1080/10408390701719272>
4. Afoakwa, Emmanuel Ohene, Quao, J., Budu, A. S., Takrama, J., & Saalia, F. K. (2011). Effect of pulp preconditioning on acidification, proteolysis, sugars and free fatty acids concentration during fermentation of cocoa (*Theobroma cacao*) beans. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 62(7), 755–764. <https://doi.org/10.3109/09637486.2011.581224>
5. Afoakwa, Emmanuel Ohene, Quao, J., Takrama, J., Budu, A. S., & Saalia, F. K. (2011). Chemical composition and physical quality characteristics of Ghanaian cocoa beans as affected by pulp pre-conditioning and fermentation. *Journal of Food Science and Technology*, 50(6), 1097–1105. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0446-5>
6. Alverson, W. S., Whitlock, B. A., Nyffeler, R., Bayer, C., & Baum, D. A. (1999). Phylogeny of the core Malvales: Evidence from *ndhF* sequence data. *American Journal of Botany*, 86(10), 1474–1486. <https://doi.org/10.2307/2656928>

Efectos de la fermentación y secado en el contenido de polifenoles y alcaloides del cacao

7. Andrade-Almeida, J., Rivera-García, J., Chire-Fajardo, G. C., & Ureña-Peralta, M. O. (2019). Propiedades físicas y químicas de cultivares de cacao (*Theobroma cacao* L.) de Ecuador y Perú. *Enfoque UTE*, 10(4), 1–12. <https://doi.org/10.29019/enfoque.v10n4.462>
8. Andújar, I., Recio, M. C., Giner, R. M., & Ríos, J. L. (2012). Cocoa polyphenols and their potential benefits for human health. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2012, 1–23. <https://doi.org/10.1155/2012/906252>
9. Apriyanto, M., Sutardi, S., Supriyanto, S., & Harmayani, E. (2017). Amino acid analysis of cocoa fermented by high performance liquid chromatography (HPLC). *Asian Journal of Dairy and Food Research*, 36(02), 156–160. <https://doi.org/10.18805/ajdfr.v36i02.7962>
10. Aprotosoai, A. C., Luca, S. V., & Miron, A. (2016). Flavor Chemistry of Cocoa and Cocoa Products-An Overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(1), 73–91. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12180>
11. Araujo, Q. R., Fernandes, C. A. F., Ribeiro, D. O., Efraim, P., Steinmacher, D., Lieberei, R., Bastide, P., & Araujo, T. G. (2014). Cocoa Quality Index - A proposal. *Food Control*, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.05.003>
12. Arvelo, M., Delgado, T., Maroto, S., Rivera, J., Higuera, I., & Navarro, A. (2016). Estado actual sobre la producción y el comercio del cacao en América. In Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA); Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A .C (CATIEJ).
13. Arvelo, M., González, D., Maroto, S., Delgado, T., & Montoya, P. (2017). Manual del cultivo de cacao. Buenas prácticas para América Latina. In M. Arevalo (Ed.), Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
14. Ascriczzi, R., Flamini, G., Tessieri, C., & Pistelli, L. (2017). From the raw seed to chocolate: Volatile profile of Blanco de Criollo in different phases of the processing chain. *Microchemical Journal*, 133, 474–479. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2017.04.024>
15. Badrie, N., Bekele, F., Sikora, E., & Sikora, M. (2015). Cocoa Agronomy, Quality, Nutritional, and Health Aspects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(5), 620–659. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.669428>
16. Barbosa-Pereira, L., Rojo-Poveda, O., Ferrocino, I., Giordano, M., & Zeppa, G. (2019). Assessment of volatile fingerprint by HS-SPME/GC-qMS and E-nose for the classification of

Efectos de la fermentación y secado en el contenido de polifenoles y alcaloides del
cacao

- cocoa bean shells using chemometrics. *Food Research International*, 123, 684–696. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.05.041>
17. Barrientos, L. D. P., Oquendo, J. D. T., Garzón, M. A. G., & Álvarez, O. L. M. (2019). Effect of the solar drying process on the sensory and chemical quality of cocoa (*Theobroma cacao* L.) cultivated in Antioquia, Colombia. *Food Research International*, 115, 259–267. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.084>
18. Batista, N. N., de Andrade, D. P., Ramos, C. L., Dias, D. R., & Schwan, R. F. (2016). Antioxidant capacity of cocoa beans and chocolate assessed by FTIR. *Food Research International*, 90, 313–319. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.10.028>
19. Beckett, S. T. (2009). *Industrial Chocolate Manufacture and Uses*. In Blackwell Publishing Ltd. (Fourth Edn). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.02041.x>
20. Beg, M. S., Ahmad, S., Jan, K., & Bashir, K. (2017). Status, supply chain and processing of cocoa. *Trends in Food Science and Technology*, 66, 108–116. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.06.007>
21. Bernaert, N., De Paepe, D., Bouten, C., De Clercq, H., Stewart, D., Van Bockstaele, E., De Loose, M., & Van Droogenbroeck, B. (2012). Antioxidant capacity, total phenolic and ascorbate content as a function of the genetic diversity of leek (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*). *Food Chemistry*, 134(2), 669–677. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.159>
22. Bordiga, M., Locatelli, M., Travaglia, F., Coisson, J. D., Mazza, G., & Arlorio, M. (2015). Evaluation of the effect of processing on cocoa polyphenols: Antiradical activity, anthocyanins and procyanidins profiling from raw beans to chocolate. *International Journal of Food Science and Technology*, 50(3), 840–848. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12760>
23. Bortolini, C., Patrone, V., Puglisi, E., & Morelli, L. (2016). Detailed analyses of the bacterial populations in processed cocoa beans of different geographic origin, subject to varied fermentation conditions. *International Journal of Food Microbiology*, 236, 98–106. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.07.004>
24. Breno, T., & Almada, F. (2016). La agricultura familiar en las Américas: Principios y conceptos que guían la cooperación técnica del IICA. In Instituto Interamericano de Cooperación Agrícola [IICA].

Efectos de la fermentación y secado en el contenido de polifenoles y alcaloides del cacao

25. Brillouet, J. M., & Hue, C. (2017). Fate of proanthocyanidins and anthocyanins along fermentation of cocoa seeds (*Theobroma cacao* L.). *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 90, 141–146. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2017.090.017>
26. Bymolt, R., Laven, A., & Tyszler, M. (2018). The importance of cocoa. In *Demystifying the cocoa sector in Ghana and Côte d'Ivoire*. Chapter 7. The Royal Tropical Institute (KIT).
27. Camu, N., De Winter, T., Addo, S. K., Takrama, J. S., Bernaert, H., & De Vuyst, L. (2008). Fermentation of cocoa beans: influence of microbial activities and polyphenol concentrations on the flavour of chocolate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88, 2288–2297. <https://doi.org/10.1002/jsfa>
28. Carlin-Sinclair, A., Marc, I., Menguy, L., & Prim, D. (2009). The determination of methylxanthines in chocolate and cocoa by different separation techniques: HPLC, instrumental TLC, and MECC. *Journal of Chemical Education*, 86(11), 1307–1310. <https://doi.org/10.1021/ed086p1307>
29. Carrillo, L. C., Londoño-Londoño, J., & Gil, A. (2014). Comparison of polyphenol, methylxanthines and antioxidant activity in *Theobroma cacao* beans from different cocoa-growing areas in Colombia. *Food Research International*, 60, 273–280. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.06.019>
30. Castro-Alayo, E. M., Idrogo-Vásquez, G., Siche, R., & Cardenas-Toro, F. P. (2019). Formation of aromatic compounds precursors during fermentation of Criollo and Forastero cocoa. *Heliyon*, 5(1). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01157>
31. Cevallos-Cevallos, J. M., Gysel, L., Maridueña-Zavala, M. G., & Molina-Miranda, M. J. (2018). Time-Related Changes in Volatile Compounds during Fermentation of Bulk and Fine-Flavor Cocoa (*Theobroma cacao*) Beans. *Journal of Food Quality*, 2018, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2018/1758381>
32. Chetschik, I., Kneubühl, M., Chatelain, K., Schlüter, A., Bernath, K., & Hühn, T. (2017). Investigations on the Aroma of Cocoa Pulp (*Theobroma cacao* L.) and Its Influence on the Odor of Fermented Cocoa Beans. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(10), 2467–2472. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b05008>
33. Crafac, M., Keul, H., Eskildsen, C. E., Petersen, M. A., Saerens, S., Blennow, A., Skovmand-Larsen, M., Swiegers, J. H., Petersen, G. B., Heimdal, H., & Nielsen, D. S. (2014). Impact of

Efectos de la fermentación y secado en el contenido de polifenoles y alcaloides del cacao

- starter cultures and fermentation techniques on the volatile aroma and sensory profile of chocolate. *Food Research International*, 63, 306–316.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.04.032>
34. D'Souza, R. N., Grimbs, S., Behrends, B., Bernaert, H., Ullrich, M. S., & Kuhnert, N. (2017). Origin-based polyphenolic fingerprinting of *Theobroma cacao* in unfermented and fermented beans. *Food Research International*, 99(March), 550–559.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.06.007>
35. De Taeye, C., Eyamo Evina, V. J., Cullet, G., Niemenak, N., & Collin, S. (2016). Fate of Anthocyanins through Cocoa Fermentation. Emergence of New Polyphenolic Dimers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(46), 8876–8885.
<https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b03892>
36. De Vuyst, L., & Weckx, S. (2016). The cocoa bean fermentation process: from ecosystem analysis to starter culture development. *Journal of Applied Microbiology*, 121(1), 5–17.
<https://doi.org/10.1111/jam.13045>
37. Djikeng, F. T., Teyomnou, W. T., Tenyang, N., Tiencheu, B., Morfor, A. T., Touko, B. A. H., Houketchang, S. N., Boungo, G. T., Karuna, M. S. L., Ngoufack, F. Z., & Womeni, H. M. (2018). Effect of traditional and oven roasting on the physicochemical properties of fermented cocoa beans. *Heliyon*, 4(2). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00533>
38. Efraim, P., Pezoa-García, N. H., Pereira, D., Nishikawa, A., Haddad, R., & Nogueira, M. (2010). Influência da fermentação e secagem de amêndoas de cacau no teor de compostos fenólicos e na aceitação sensorial Influence of cocoa beans fermentation and drying on the polyphenol content and sensory acceptance. *Ciencia E Tecnologia De Alimentos*, 30, 142–150.
39. Erazo, C. (2019). “Diseño de un fermentador y secador solar piloto, para dos variedades de cacao (*Theobroma cacao* L), en el cantón El Empalme provincia Guayas.” Universidad Internacional SEK.
40. Eyamo Evina, V. J., De Taeye, C., Niemenak, N., Youmbi, E., & Collin, S. (2016). Influence of acetic and lactic acids on cocoa flavan-3-ol degradation through fermentation-like incubations. *LWT - Food Science and Technology*, 68, 514–522.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.047>
-

Efectos de la fermentación y secado en el contenido de polifenoles y alcaloides del cacao

41. Foundation, W. C. (2014). Cocoa Market Update. Report 13.
42. Franco, R., Oñatibia-Astibia, A., & Martínez-Pinilla, E. (2013). Health benefits of methylxanthines in cacao and chocolate. *Nutrients*, 5(10), 4159–4173. <https://doi.org/10.3390/nu5104159>
43. Gayi, S., & Tsowou, K. (2015). Cocoa industry : Integrating small farmers into the global value chain. United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD), 49.
44. Giacometti, J., Mazor Jolić, S., & Josić, D. (2015). Cocoa Processing and Impact on Composition. *Processing and Impact on Active Components in Food*, 597–603. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404699-3.00072-X>
45. Giacometti, J., Muhvić, D., Pavletić, A., & Đudarić, L. (2016). Cocoa polyphenols exhibit antioxidant, anti-inflammatory, anticancerogenic and anti-necrotic activity in carbon tetrachloride-intoxicated mice. *Journal of Functional Foods*, 23, 177–187. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.02.036>
46. Ginatta, G., Vignati, F., & Rodríguez, M. del C. (2018). Observatorio del Cacao Fino Y de Aroma para América Latina. In *Iniciativa latinoamericana del CACAO*. http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1258/OLC_CAF_boletin_3_Español-final.pdf?sequence=1&isAllowed=y
47. Gómez-García, R., & Vignati, F. (2015). Latin American Cacao Initiative. Development Bank of Latin America, 1–7. [http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/892/3. Propuesta de valor ILAC- Ing.pdf?sequence=17&isAllowed=y](http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/892/3.Propuesta%20de%20valor%20ILAC-Ing.pdf?sequence=17&isAllowed=y)
48. Guehi, T. S., Dadie, A. T., Koffi, K. P. B., Dabonne, S., Ban-Koffi, L., Kedjebo, K. D., & Nemlin, G. J. (2010). Performance of different fermentation methods and the effect of their duration on the quality of raw cocoa beans. *International Journal of Food Science and Technology*, 45(12), 2508–2514. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02424.x>
49. Harrington, W. L. (2011). The Effects of Roasting Time and Temperature on the Antioxidant Capacity of Cocoa Beans from Dominican Republic , Ecuador , Haiti , Indonesia , and Ivory Coast. University of Tennessee, Knoxville - Estados Unidos.
50. Hinnéh, M., Semanhyia, E., Van de Walle, D., De Winne, A., Tzompa-Sosa, D. A., Scalone, G. L. L., De Meulenaer, B., Messens, K., Van Durme, J., Afoakwa, E. O., De Cooman, L., & Dewettinck, K. (2018). Assessing the influence of pod storage on sugar and free amino acid

Efectos de la fermentación y secado en el contenido de polifenoles y alcaloides del cacao

- profiles and the implications on some Maillard reaction related flavor volatiles in Forastero cocoa beans. *Food Research International*, 111, 607–620. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.05.064>
51. Homem, G., Reis de Araujo, Q., René-Valle, R., Andrade-Sodré, G., & Moreira de Souza, S. (2017). Influencia de factores agroambientales sobre la calidad del clon de cacao (*Theobroma cacao* L.) PH-16 en la región cacaotera de Bahia, Brasil. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(12), 579. <https://doi.org/10.19136/era.a4n12.1274>
52. ICCO. (2017). Fine or Flavour Cocoa. The International Cocoa Organization. <https://www.icco.org/about-cocoa/fine-or-flavour-cocoa.html>
53. ICCO, I. C. O. (2018). Statistics – Production. Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics, Vol. XLIV(No. 3). <https://www.icco.org/about-us/icco-news/398-quarterly-bulletin-of-cocoa-statistics-november-2018.html>
54. Illegghems, K., de Vuyst, L., Papalexandratou, Z., & Weckx, S. (2012). Phylogenetic analysis of a spontaneous cocoa bean fermentation metagenome reveals new insights into its bacterial and fungal community diversity. *PLoS ONE*, 7(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038040>
55. Ingran, V., van Rijn, F., Waarts, Y., Dekkers, M., de Vos, B., Koster, T., Tanoh, R., & Galo, A. (2017). Towards sustainable cocoa in Côte d'Ivoire. The impacts and contribution of UTZ certification combined with services provided by companies. Wageningen, Wageningen Economic Research.
56. Ioannone, F., Di Mattia, C. D., De Gregorio, M., Sergi, M., Serafini, M., & Sacchetti, G. (2015). Flavanols, proanthocyanidins and antioxidant activity changes during cocoa (*Theobroma cacao* L.) roasting as affected by temperature and time of processing. *Food Chemistry*, 174, 256–262. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.019>
57. Jahurul, M. H. A., Zaidul, I. S. M., Norulaini, N. A. N., Sahena, F., Jinap, S., Azmir, J., Sharif, K. M., & Mohd Omar, A. K. (2013). Cocoa butter fats and possibilities of substitution in food products concerning cocoa varieties, alternative sources, extraction methods, composition, and characteristics. *Journal of Food Engineering*, 117(4), 467–476. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.09.024>

Efectos de la fermentación y secado en el contenido de polifenoles y alcaloides del cacao

58. John, W. A., Böttcher, N. L., Behrends, B., Corno, M., D'souza, R. N., Kuhnert, N., & Ullrich, M. S. (2020). Experimentally modelling cocoa bean fermentation reveals key factors and their influences. *Food Chemistry*, 302, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125335>
59. John, W. A., Kumari, N., Böttcher, N. L., Koffi, K. J., Grimbs, S., Vrancken, G., D'Souza, R. N., Kuhnert, N., & Ullrich, M. S. (2016). Aseptic artificial fermentation of cocoa beans can be fashioned to replicate the peptide profile of commercial cocoa bean fermentations. *Food Research International*, 89, 764–772. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.10.011>
60. Jonfia-Essien, W. A., West, G., Alderson, P. G., & Tucker, G. (2008). Phenolic content and antioxidant capacity of hybrid variety cocoa beans. *Food Chemistry*, 108(3), 1155–1159. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.12.001>
61. Katz, D. L., Doughty, K., & Ali, A. (2011). Cocoa and chocolate in human health and disease. *Antioxidants and Redox Signaling*, 15(10), 2779–2811. <https://doi.org/10.1089/ars.2010.3697>
62. Komolafe, C. A., Adejumo, A. O. D., Awogbemi, O., & Adeyeye, A. D. (2014). Development of a cocoa beans batch dryer. *American Journal of Engineering Research*, 3(9), 171–176. www.ajer.org
63. Kongor, J. E., Hinneh, M., de Walle, D. Van, 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. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.01.012>
64. Kothe, L., Zimmermann, B. F., & Galensa, R. (2013). Temperature influences epimerization and composition of flavanol monomers, dimers and trimers during cocoa bean roasting. *Food Chemistry*, 141(4), 3656–3663. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.06.049>
65. Krysiak, W., Adamski, R., & Zyzelewicz, D. (2013). Factors Affecting the Color of Roasted Cocoa Bean. *Journal of Food Quality*, 36(1), 21–31. <https://doi.org/10.1111/jfq.12009>
66. Kumar, M., Sansaniwal, S. K., & Khatak, P. (2016). Progress in solar dryers for drying various commodities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 346–360. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.158>
67. Latif, R. (2013). Health benefits of cocoa. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 16(6), 669–674. <https://doi.org/10.1097/MCO.0b013e328365a235>
-

Efectos de la fermentación y secado en el contenido de polifenoles y alcaloides del cacao

68. Leite, P. B., Maciel, L. F., Opretzka, L. C. F., Soares, S. E., & Bispo, E. da S. (2013). Phenolic compounds, methylxanthines and antioxidant activity in cocoa mass and chocolates produced from “witch broom disease” resistant and non resistant cocoa cultivars. *Ciência e Agrotecnologia*, 37(3), 244–250. <https://doi.org/10.1590/s1413-70542013000300007>
69. Liu, J., Liu, M., He, C., Song, H., Guo, J., Wang, Y., Yang, H., & Su, X. (2015). A comparative study of aroma-active compounds between dark and milk chocolate: Relationship to sensory perception. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(6), 1362–1372. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6831>
70. Moreau, J. F., Bacelar Leite, P., Soares, S., & da Silva Bispo, E. (2013). Assessment of the fermentative process from different cocoa cultivars produced in Southern Bahia, Brazil. *African Journal of Biotechnology*, 12(33), 5218–5225. <https://doi.org/10.5897/ajb2013.12122>
71. Navia, A., & Pazmiño, N. (2012). Mejoramiento de las características sensoriales del cacao CCN51 a través de la adición de enzimas durante el proceso de fermentación [Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción]. <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/90118/D-79626.pdf>
72. Nehlig, A. (2013). The neuroprotective effects of cocoa flavanol and its influence on cognitive performance. *British Journal of Clinical Pharmacology*, 75(3), 716–727. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2125.2012.04378.x>
73. Oracz, J., Zyzelewicz, D., & Nebesny, E. (2015). The Content of Polyphenolic Compounds in Cocoa Beans (*Theobroma cacao* L.), Depending on Variety, Growing Region, and Processing Operations: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(9), 1176–1192. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.686934>
74. Pallares, A., Estupiñán, M., Perea, J., & López, L. (2016). Impact of fermentation and drying in polyphenol content and antioxidant capacity of cocoa variety CCN-51. *Ion*, 29, 7–21. <https://doi.org/cocoa>, post-harvest process, CCN-51, total polyphenols, antioxidant capacity
75. Payne, M. J., Hurst, W. J., Miller, K. B., Rank, C., & Stuart, D. A. (2010). Impact of fermentation, drying, roasting, and dutch processing on epicatechin and catechin content of cacao beans and cocoa ingredients. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(19), 10518–10527. <https://doi.org/10.1021/jf102391q>
-

Efectos de la fermentación y secado en el contenido de polifenoles y alcaloides del cacao

76. Pedan, V., Fischer, N., & Rohn, S. (2016). An online NP-HPLC-DPPH method for the determination of the antioxidant activity of condensed polyphenols in cocoa. *Food Research International*, 89, 890–900. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.10.030>
77. Peláez, P., Bardón, I., & Camasca, P. (2016). Methylxanthine and catechin content of fresh and fermented cocoa beans, dried cocoa beans, and cocoa liquor. *Scientia Agropecuaria*, 7(4), 355–365. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.04.01>
78. Peno-Mazzarino, L. (2012). Cocoa Polyphenols. In *Cocoa Butter and Related Compounds*. AOCS Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-9830791-2-5.50006-2>
79. Pineda, R., Chica, M., Echeverri, L., Ortíz, A., Olarte, H., & Riaño, N. (2012). Influencia De La Fermentación Y El Secado Al Sol Sobre Las Características Del Grano De Cacao Tsh 565 E Ics 60. *Vitae*, 19(1), S288–S290.
80. Pino, S., Aguilar, H., Apolo, A., & Sisalema, L. (2018). Contribution of the agricultural sector to the economy of Ecuador. Critical analysis of its evolution in the period of dollarization. *Years 2000 - 2016. Espacios*, 39(32).
81. Puello-Mendez, J., Meza-Castellar, P., Cortés, L., Bossa, L., Sanjuan, E., Lambis-Miranda, H., & Villamizar, L. (2017). Comparative study of solar drying of cocoa beans: Two methods used in Colombian rural areas. *Chemical Engineering Transactions*, 57, 1711–1716. <https://doi.org/10.3303/CET1757286>
82. Quarmin, W., Haagsma, R., Sakyi-Dawson, O., Asante, F., Van Huis, A., & Obeng-Ofori, D. (2012). Incentives for cocoa bean production in Ghana: Does quality matter? *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 60(63), 7–14. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2012.06.009>
83. Rodríguez-Campos, J., Escalona-Buendía, H. B., Orozco-Avila, I., Lugo-Cervantes, E., & Jaramillo-Flores, M. E. (2011). Dynamics of volatile and non-volatile compounds in cocoa (*Theobroma cacao* L.) during fermentation and drying processes using principal components analysis. *Food Research International*, 44(1), 250–258. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.10.028>
84. Rohan, T. (1964). El beneficio del cacao bruto destinado al mercado. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 223 p.

Efectos de la fermentación y secado en el contenido de polifenoles y alcaloides del
cacao

85. Rusconi, M., & Conti, A. (2010). *Theobroma cacao* L., the Food of the Gods: A scientific approach beyond myths and claims. *Pharmacological Research*, 61(1), 5–13. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2009.08.008>
86. Saltini, R., Akkerman, R., & Frosch, S. (2013). Optimizing chocolate production through traceability: A review of the influence of farming practices on cocoa bean quality. *Food Control*, 29(1), 167–187. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.05.054>
87. Santander Muñoz, M., Rodríguez Cortina, J., Vaillant, F. E., & Escobar Parra, S. (2020). An overview of the physical and biochemical transformation of cocoa seeds to beans and to chocolate: Flavor formation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(10), 1593–1613. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1581726>
88. Schwan, R., & Fleet, G. (2014). Cocoa and Coffee Fermentations. In R. F. S. and G. H. Fleet (Ed.), *Encyclopedia of Food Microbiology* (Primera). <https://doi.org/10.1006/rwfm.1999.1795>
89. Sirerol, J. A., Rodríguez, M. L., Mena, S., Asensi, M. A., Estrela, J. M., & Ortega, A. L. (2016). Role of natural stilbenes in the prevention of cancer. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2016, 1–15. <https://doi.org/10.1155/2016/3128951>
90. Sotelo, A., & Alvarez, R. G. (1991). Chemical Composition of Wild *Theobroma* Species and Their Comparison to the Cacao Bean. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 39(11), 1940–1943. <https://doi.org/10.1021/jf00011a009>
91. Suazo, Y., Davidov-Pardo, G., & Arozarena, I. (2014). Effect of Fermentation and Roasting on the Phenolic Concentration and Antioxidant Activity of Cocoa from Nicaragua. *Journal of Food Quality*, 37(1), 50–56. <https://doi.org/10.1111/jfq.12070>
92. Sulaiman, K. B., Yang, T. A., & Ariffin, F. (2017). Colour and Antioxidant Properties of Cocoa Beans From Pods Storage and Fermentation Using Shallow Box. *MATTER: International Journal of Science and Technology*, 3(2), 455–465. <https://doi.org/10.20319/mijst.2017.32.455465>
93. Trognitz, B., Cros, E., Assemat, S., Davrieux, F., Forestier-Chiron, N., Ayestas, E., Kuant, A., Scheldeman, X., & Hermann, M. (2013). Diversity of Cacao Trees in Waslala, Nicaragua: Associations between Genotype Spectra, Product Quality and Yield Potential. *PLoS ONE*, 8(1), 1–13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0054079>

Efectos de la fermentación y secado en el contenido de polifenoles y alcaloides del
cacao

94. Urbańska, B., Derewiaka, D., Lenart, A., & Kowalska, J. (2019). Changes in the composition and content of polyphenols in chocolate resulting from pre-treatment method of cocoa beans and technological process. *European Food Research and Technology*, 245, 2101–2112.
95. Vázquez-Ovando, A., Ovando-Medina, I., Adriano-Anaya, L., Betancur-Ancona, D., & Salvador-Figueroa, M. (2016). Alcaloides y polifenoles del cacao, mecanismos que regulan su biosíntesis y sus implicaciones en el sabor y aroma. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 66(3), 239–254.
96. Vera Chang, J. F., Vallejo Torres, C., Párraga Morán, D. E., Macías Véliz, J., Ramos Remache, R., & Morales Rodríguez, W. (2015). Atributos Físicos-Químicos y Sensoriales de las Almendras de Quince Clones de Cacao Nacional (*Theobroma cacao* L.) en el Ecuador. *Ciencia y Tecnología*, 7(2), 21–34. <https://doi.org/10.18779/cyt.v7i2.99>
97. Witjaksono, J. (2016). Cocoa Farming System in Indonesia and Its Sustainability Under Climate Change. *Agriculture, Forestry and Fisheries*, 5(5), 170–180. <https://doi.org/10.11648/j.aff.20160505.15>
98. Zahouli, G. I. B., Guehi, S. T., Fae, A. M., Ban-Koffi, L., & Nemlin, J. G. (2010). Effect of drying methods on the chemical quality traits of cocoa raw material. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 2(4), 184–190.
99. Zapata, S., Tamayo Tenorio, A., & Alberto Rojano, B. (2013). Effect of fermentation on the antioxidant activity of different Colombian cocoa clones. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 18(3), 391–404.

©2021 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).