



Condiciones de fermentación y secado en las características físico químicas del cacao (*Theobroma cacao* L.) Cultivar CCN 51

Fermentation and drying conditions in the physical-chemical characteristics of cocoa (*Theobroma cacao* L.) Cultivar CCN 51

Chávez-Salazar, Angel^{1*}

Guevara-Pérez, Américo²

Encina-Zelada, Christian²

Vidaurre-Rojas, Pierre¹

Muñoz-Delgado, Victor¹

¹Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú

²Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú

Recibido: 01 Abr. 2023 | **Aceptado:** 23 Jun. 2023 | **Publicado:** 10 Jul. 2023

Autor de correspondencia*: achavez@unsm.edu.pe

Cómo citar este artículo: Chávez-Salazar, A., Guevara-Pérez, A., Encina-Zelada, C., Vidaurre-Rojas, P. & Muñoz-Delgado, V. (2023). Condiciones de fermentación y secado en las características físico químicas del cacao (*Theobroma cacao* L.) Cultivar CCN 51. *Revista Agrotecnológica Amazónica*, 3(2), e555. <https://doi.org/10.51252/raa.v3i2.555>

RESUMEN

El estudio evaluó el efecto de la altura del cajón de fermentación y los métodos de secado en las características fisicoquímicas del cacao CCN 51. Se procesaron mazorcas de cacao mediante cajón de fermentación y se secaron al sol, con un secador solar o con flujo de aire caliente. Se encontró que la menor degradación de polifenoles (16,9%) se produjo a 1m de altura y la menor pérdida de antocianinas (42,4%) a 0,20m. Después de 96 horas de fermentación, las muestras alcanzaron una temperatura promedio de 52,3°C y un pH final de 4,31. Los sólidos solubles disminuyeron de 19,5 a 0 °Brix después de tres días de fermentación. Respecto a los métodos de secado, el flujo de aire caliente produjo el menor porcentaje de degradación de polifenoles (29,9%) y antocianinas (65,1%). Las muestras secadas al sol y las secadas con el secador solar presentaron diferencias significativas en la degradación de polifenoles. El método de secado seleccionado fue con flujo de aire caliente, y las muestras presentaron las siguientes características: 8,13(g EAG/100g de m. s.), 0,64 (mg cianidina-3-glucosido/g de m. s.), 0,32(g. de ácido acético /100g de m. s.).

Palabras clave: cajón de fermentación, Colección Castro Naranjal 51, métodos de secado, polifenoles

ABSTRACT

The study evaluated the effect of the height of the fermentation box and the drying methods on the physicochemical characteristics of CCN 51 cocoa. Cocoa pods were processed through the fermentation box and dried in the sun, with a solar dryer or with air flow. hot. It was found that the least degradation of polyphenols (16.9%) occurred at 1m height and the least loss of anthocyanins (42.4%) at 0.20m. After 96 hours of fermentation, the samples reached an average temperature of 52.3°C and a final pH of 4.31. The soluble solids decreased from 19.5 to 0 °Brix after three days of fermentation. Regarding the drying methods, the flow of hot air produced the lowest percentage of degradation of polyphenols (29.9%) and anthocyanins (65.1%). The samples dried in the sun and those dried with the solar dryer presented significant differences in the degradation of polyphenols. The selected drying method was with hot air flow, and the samples presented the following characteristics: 8.13 (g EAG/100g of m. s.), 0.64 (mg cyanidin-3-glucoside/g of m. s.), 0.32(g. of acetic acid /100g of m. s.).

Keywords: fermentation drawer, Castro Naranjal Collection 51, drying methods, polyphenols



1. INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un cultivo tropical que ha jugado un papel importante en la economía y cultura de muchos países durante siglos (Lenou Nkouedjo et al., 2020). La planta es originaria de la cuenca del Amazonas (Pérez et al., 2021). Sin embargo, a la actualidad, el cacao se cultiva principalmente en África occidental, que representa más del 70% de la producción mundial (Teye & Nikoi, 2022). Otros productores importantes incluyen América del Sur, el sudeste asiático y América Central (Keller et al., 2022).

Con respecto al mercado mundial, el cacao es altamente competitivo y está en constante evolución (Kasmin & Nursalam, 2019). La demanda de productos derivados del cacao y el chocolate continúa en aumento, impulsada por la creciente conciencia de los consumidores acerca de los beneficios para la salud del cacao, así como por la popularidad del chocolate premium y artesanal (Li, 2020). Sin embargo, la industria también se enfrenta a desafíos significativos, tales como el cambio climático, las plagas y enfermedades, así como problemas relacionados con la sostenibilidad y el abastecimiento ético (Suh & Molua, 2022).

En ese sentido, el cultivo del cacao tiene un impacto significativo en las distintas economías productoras, proporcionando ingresos y empleo a millones de personas (López Cuadra et al., 2020). En Perú, la producción de cacao en grano ha experimentado un crecimiento constante en los últimos diez años, con una tasa de crecimiento promedio anual del 12,6% (Guzmán-Bautista & Chire-Fajardo, 2019). En el país, se cultivan tres tipos de cacao: trinitario (53,3%), forastero amazónico (37,3%) y criollo (9,4%). Las cinco regiones más destacadas en términos de producción son San Martín, Junín, Ucayali, Huánuco y Cusco, las cuales representan aproximadamente el 84% del total de la producción del país (MINAGRI, 2022).

La región San Martín se destaca como el principal productor de cacao, con una participación del 35,6% y una producción de 48,4 mil toneladas. Además, cuenta con un área cultivada de 65,184 hectáreas, donde el 80% está dedicado al cultivo del cacao de la variedad CCN 51. Esta elección se debe a su alto rendimiento, que oscila entre 2,500 y 3,000 kg/ha/año en las zonas de Tocache y Uchiza (MINAGRI, 2022). A pesar de ello, esta variedad de grano no se considera de calidad superior en términos de aroma, aunque su contenido de aceites y grasas es adecuado para la producción de manteca (Andrade et al., 2019).

Para ello, la fermentación de las almendras de cacao puede considerarse principalmente como un proceso de curado para estabilizar las almendras frescas a través de la degradación microbiana del mucilago firmemente adherido y perecedero a través del secado (García-Rincón et al., 2021). Se produce diversos cambios químicos y bioquímicos que son necesarios para formar el aroma y los precursores del aroma que se producirán en el proceso de tostado. Durante el proceso de secado convencional del cacao (secado al sol), las almendras de cacao son secadas hasta obtener el contenido de humedad deseado (C. O. Álvarez et al., 2022). Pero, el secado degrada los polifenoles en los granos de cacao a través de una reacción compleja conocida como dorado y también debido al efecto térmico.

Por lo expuesto, decidimos realizar la presente investigación planteando los siguientes objetivos: (1) evaluar el efecto de las condiciones de fermentación; sobre la variación de los polifenoles totales, antocianinas, color y pH en la almendra de cacao (*Theobroma cacao* L.) cultivar CCN 51. Y (2) evaluar el efecto del método de secado (directo al sol, cámara de secado al sol y con aire caliente) sobre la variación de polifenoles totales, antocianinas, color y pH en la almendra de cacao (*Theobroma cacao* L.) cultivar CCN 51.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 Origen y distribución de la materia prima

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es una especie endémica de América del Sur, y su centro de origen se encuentra en la región que abarca las cuencas de los ríos Caquetá, Putumayo y Napo, los cuales son

afluentes del río Amazonas (Pérez et al., 2021). En la cuenca amazónica, esta especie se distribuye en países como Bolivia, Brasil, Colombia, Venezuela, Surinam y Guyana. En la selva peruana, el cacao se cultiva en diversos departamentos, entre ellos Loreto, San Martín, Ucayali, Huánuco, Junín, Cerro de Pasco, Madre de Dios, Cuzco, Amazonas y Ayacucho.

2.2 Composición químico proximal de las almendras de cacao

En los granos de cacao fermentados y secos de África Occidental, el contenido de grasa oscila entre el 56 y el 58%, y la mayoría de los cacao Forastero caen entre el 55 y el 59% (E. O. Afoakwa et al., 2008; Reineccius et al., 1972; Rohan, 1963; Wood & Lass, 1985). En la Tabla 1 se presenta el análisis proximal de las almendras de cacao frescas y fermentadas.

Tabla 1.

Composición proximal (base seca) de almendras de cacao frescas y en proceso de fermentación

Horas de fermentación	Humedad	Ceniza	Proteína cruda	Grasa cruda	Fibra dietaria
0	57,85±0,02 ^a	5,73±0,01 ^a	12,46±0,03 ^a	54,45±0,09 ^e	2,65±0,35 ^g
24	55,13±0,01 ^b	5,13±0,00 ^b	11,45±0,00 ^e	54,92±0,12 ^{bc}	3,18±0,38 ^f
48	52,00±0,01 ^c	4,74±0,06 ^d	11,94±0,06 ^c	54,76±0,15 ^{cd}	3,64±0,29 ^e
72	49,31±0,08 ^d	4,98±0,01 ^c	11,76±0,05 ^d	3,91±0,03 ^f	3,75±0,25 ^e
96	45,55±0,09 ^e	4,59±0,02 ^e	11,51±0,05 ^e	54,53±0,08 ^{de}	5,18±0,33 ^d
120	39,14±0,07 ^f	4,59±0,01 ^f	12,31±0,08 ^b	54,53±0,48 ^{ab}	5,41±0,24 ^c

Fuente: Romel et al. (2008)

2.3 Antocianinas

Las antocianinas derivan del griego *anthos* flor y *kyanos* azul, son el grupo más importante de pigmentos solubles al agua visibles para el ojo humano, forman parte de la familia de los polifenoles y se definen como flavonoides fenólicos (Cuevas et al., 2008). Los enlaces conjugados en sus estructuras, que absorben la luz a aproximadamente 500 nm, son la base de los colores rojo, azul y morado de las frutas, verduras y sus productos. La degradación es causada por oxidación, escisión de enlaces covalentes o reacciones de oxidación mejoradas debido al procesamiento térmico (Patras et al., 2010).

2.4 Polifenoles

Manach et al. (2004) sostienen que, los polifenoles son micronutrientes abundantes en nuestra dieta y la evidencia de su rol en la prevención de enfermedades degenerativas tales como cáncer y males cardiovasculares son emergente. La principal función de los polifenoles se encuentra asociada a la defensa de las plantas, frutas y flores, así como a la generación de los sabores y aromas de los frutos, equilibrio hormonal, coloración, propiedades antitrombóticas, vasodilatadoras, inmunes supresores y antimicrobianos (Ladaniya, 2008). Peláez et al. (2016), reportan valores de contenido de polifenoles totales en almendras de cacao Forastero y CCN 51 en estado fresco y durante la fermentación donde a 0, 48, 72, 96, 120, 144 y 168 horas de fermentación tienen 7,05; 7,03; 6,93; 6,82; 6,41; 6,36 y 5,05 g EAG/100g de muestra.

2.5 Ensayo de Folin-Ciocalteu

El método de Folin-Ciocalteu se basa en la capacidad de los fenoles para reaccionar con agentes oxidantes. El reactivo contiene molibdato y tungstato sódico, que reaccionan con cualquier tipo de fenol, formando complejos de ácidos fosfowolfrámico o fosfotungsténico ($H_3HW_{12}O_{40}$) y ácido fosfomolibdico ($H_3PMO_{12}O_{40}$) (Kramling & Singleton, 1969).

2.6 Efecto de las operaciones poscosecha del cacao (*Theobroma cacao* L.)

Los cotiledones son blancos y en la parte interna es púrpura, dependiendo de la cantidad de antocianinas. Durante la fermentación de las almendras de cacao, ocurre la muerte del embrión. Por tanto los compuestos fenólicos entran en contacto con enzimas tales como polifenol oxidasa y glicosidasas presentes en las semillas de cacao provocando reacciones de oxidación, la formación de complejos con las proteínas, formación de compuestos denominados quinonas, que a su vez se someten a acoplamiento covalente con los grupos reactivos de aminoácidos, péptidos, proteínas y fibras (Brito et al., 2000). Además, el contenido total de polifenoles disminuye alrededor del 70%, y el contenido epicatequina se reduce aproximadamente 90%. Las antocianinas se hidrolizan rápidamente en antocianidinas y azúcares (galactosa y arabinosa) por glicosidasas. Este proceso explica el blanqueamiento del color púrpura de los cotiledones (Fenglin et al., 2013). Durante esta etapa, se inicia la formación de precursores de sabor y el desarrollo de color, y una reducción significativa en el amargor (Biehl et al., 1990; Voigt et al., 1994).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

La investigación se desarrolló en los laboratorios de Físico-química, Biotecnología e Investigación de la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM); y los laboratorios de Investigación de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial, de la Universidad Nacional de San Martín.

3.2. Materia prima

Se utilizaron 240 kg de cacao en baba (*Theobroma cacao* L.) cultivar CCN 51, que se acopiaron en la plantación de la empresa Romerp Trading, ubicada en el distrito de la Banda de Shilcayo, provincia de San Martín, departamento de San Martín.

3.3. Métodos de análisis físico químico

Humedad: Método 934.06 (AOAC, 2005).

Cenizas: Método 940.26 (AOAC, 2005).

Fibra bruta: Método 930.10 (AOAC, 2005).

Proteína: Método microkjeldahl, 920.152 (AOAC, 2005).

Grasa: Método 930.09 (AOAC, 2005).

Acidez titulable: Método 942.15 (AOAC, 2005).

pH: Método potenciométrico 981.12 (AOAC, 2005).

Sólidos solubles: Con refractómetro, Método 931.12. (AOAC, 2005).

Determinación de la temperatura en la fermentación: Por el método reportado por Gutierrez (2007)

Determinación de la fermentación: Por método de prueba de corte según las NTP - ISO 1114 (2016).

Preparación de muestra para ensayo

Se realizó la mezcla de la muestra del lote final obtenida según el método especificado en la ISO 2292. Se procedió con el método de cuarteo hasta la obtención de una cantidad superior a 300 granos, se hizo un corte longitudinal por la parte central de cada uno granos, a fin de exponer la máxima superficie de corte de los cotiledones. Se contaron separadamente los granos defectuosos, como mohosos, pizarrosos, partidos, violetas, vanos, múltiples, germinados, dañados por insectos. Y los granos de buena fermentación

presentan una coloración marrón o marrón rojiza y estrías de fermentación profunda y se calculó con la siguiente fórmula:

$$\%F = \frac{Nf \times 100}{300 \text{ gramos}}$$

Dónde:

%F = grado de fermentación en porcentaje; y Nf = número de granos fermentados.

Evaluación del color de los granos del cacao

El color de los granos se determinó mediante un colorímetro marca Cónica -Minolta CR -310 (Emmanuel et al., 2012).

Preparación de la muestra para análisis de polifenoles totales y antocianinas en granos de cacao

Los granos de cacao fueron descascarillados de forma manual para la obtención de las almendras, luego todas las muestras frescas o en proceso de fermentación fueron secadas mediante liofilización hasta humedades de 7% y desgrasadas por el método de Folch (Aelson et al., 2009) y molidas utilizando un mortero y pilón, para reducir el tamaño de partícula.

Preparación del extracto hidroalcohólico

Se pesaron 3g de muestra desengrasada, luego se enrasó a 30 ml de solución hidroalcohólica (50/50 v/v agua: etanol) y se transfirió en frascos de color ámbar, se tapó herméticamente y se realizó una extracción asistida mediante ultrasonido por 50 minutos a 50°C, se filtró, se almacenó a -18°C, en frascos de color ámbar.

Determinación de polifenoles totales

Se aplicó el método espectrofotométrico Folin Ciocalteu, reportado por Sandoval et al. (2001).

Determinación de la curva estándar

Se preparó una solución de ácido gálico a una concentración de 2mg/mL, a partir de ello se prepararon diluciones con concentraciones de: 0,0625; 0,125; 0,25; 0,5 y 1mg/mL, cada dilución se preparó por triplicado. Se agregó a cada tubo 1580µL de agua desionizada, 20µL de muestra control y ácido gálico, para el control se adicionó 20mL de agua desionizada; se homogenizó, luego se agregó 100µL de solución de fenol Folin Ciocalteu, se incubó por 1 minuto a temperatura ambiente; luego se agregó 300µL de Na₂CO₃ al 20% y finalmente se incubó por 2 horas a temperatura ambiente y en oscuridad, se realizó la lectura en espectrofotómetro UV/VIS a 700nm; con los resultados se determinó el gráfico de la concentración respecto a absorbancia.

Cuantificación de polifenoles totales

Considerando el extracto hidroalcohólico 100mg/mL (filtrado y centrifugado a 10000rpm/10min a 4°C), se realizó la dilución del extracto de acuerdo a la concentración encontrada, con 3 repeticiones por tratamiento, se realizó el mismo procedimiento para la curva estándar. Las absorbancias fueron reemplazadas en la ecuación de la curva estándar y expresadas en equivalente de ácido gálico (g EAG/100g de muestra seca).

Determinación de antocianinas

Se aplicó el método del pH diferencial.

Selección de longitud de onda de trabajo

La longitud de onda en la cual la absorbancia del analito (sustancia a analizar) es máxima (λ_{max}). Las mediciones se realizaron a las longitudes de onda de 520nm (máxima longitud de onda determinada) y a 700nm.

Preparación de las soluciones Buffer

Se prepara los Buffer pH = 1 (Cloruro de potasio 0,025 M) y Buffer pH = 4,5 (Acetato de sodio 0,4 M).

Se tomó una muestra del extracto hidroalcohólico y se diluyó apropiadamente (para conseguir una absorbancia en el rango de 0,2 a 1,4 medidos a 520nm) utilizando las soluciones buffers indicadas; y luego se mide la absorbancia, frente a un blanco a las longitudes de onda de 520 y 700nm.

Determinación del contenido de antocianinas totales

Con los valores de absorbancia registrados para cada dilución (pH 1 y 4,5) y en cada longitud de onda (520 y 700nm), se procede a determinar el contenido total de antocianinas del extracto, utilizando la siguiente ecuación:

$$A = (A_{520} - A_{700})_{pH1,0} - (A_{520} - A_{700})_{pH4,5}$$

Las absorbancias obtenidas serán reemplazadas en la ecuación y expresada como mg cianidina -3-glucósido por litro.

$$APM\left(\frac{mg}{L}\right) = \frac{A * MW * DF * 1000}{\epsilon * l}$$

Dónde:

PMA = Pigmentos monoméricos de antocianinas (mg/l).

A = Absorbancia de la dilución de la muestra.

MW = Peso molecular de la cianidina-3-glucósido es 449,2.

DF = Factor de dilución.

ϵ : La absorptividad molar a 520nm, a pH = 1,0.

pH = 4,5 es la corrección de la formación de productos de degradación es 26 900.

l = Longitud de paso de la celda 1cm.

1000 = Factor de conversión de g a mg. La ecuación permite cuantificar las antocianinas, y expresadas como antocianinas monoméricas (A_m) en mg/L.

Expresión de antocianina en función de gramos de base seca de la muestra

Para fines de discusión y análisis de concentración de antocianina en la muestra analizada, se hace necesario la conversión de dicho resultado a base seca de la muestra analizada (mg/g); para cuyo efecto se aplicó la siguiente expresión:

$$AT_{mx}\left(\frac{mg}{g}\right) = A_m\left(\frac{V_{in}}{m_x}\right)$$

Dónde:

AT_{mx} = Concentración de antocianina total en base seca de la muestra (mg/g).

A_m = Concentración de antocianina en el extracto hidroalcohólico (mg/L).

V_{in} = Volumen del extracto hidroalcohólico (L).

M_x = Peso de la muestra en base de la muestra en base seca utilizada (g).

$M_x = m_h (1 - (\%H/100))$.

M_h : Peso de la muestra húmeda utilizada para el análisis (g).

$\%H$: porcentaje de humedad en la muestra analizada (%).

3.4. Análisis estadístico

Para evaluar los resultados se utilizó el modelo estadístico Diseño Completo al Azar (DCA) con cuatro repeticiones, aplicando un ANOVA y para los que presentan diferencias significativas a ($p > 5$) se aplicó la prueba de LSD, empleando el siguiente modelo matemático. Para el análisis estadístico se utilizó el software IBM SPSS Statistic 22.

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + E_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Resultados de la evaluación de polifenoles totales, antocianinas y el análisis fisicoquímico.

μ = Media general.

α_i = Al efecto i -ésimo factor altura de fermentación de cacao.

E_{ij} = Error experimental de modelo.

3.5. Metodología experimental

Para el beneficio del cacao, se siguió la metodología de la Figura 1.

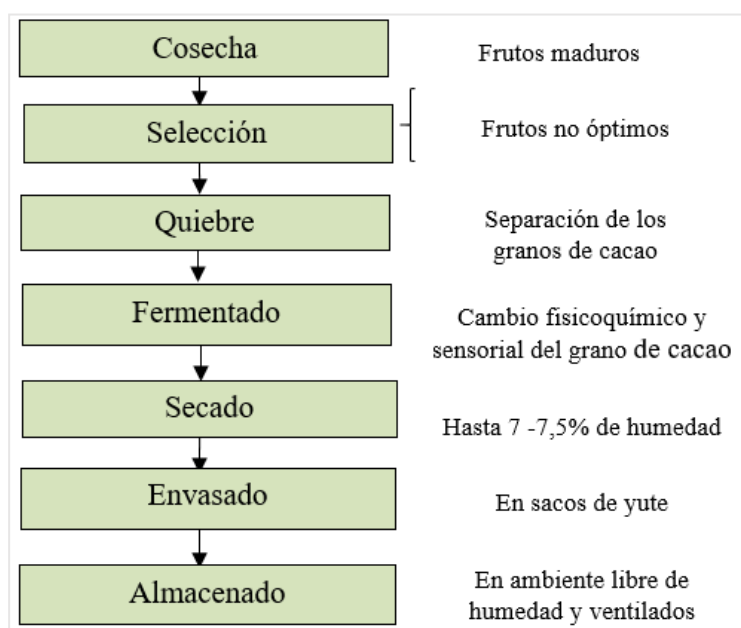


Figura 1. Flujo de operaciones para beneficio del cacao (*Theobroma cacao* L.); cultivar CCN 51

En el Anexo 1, se muestra el diseño experimental para la evaluación de las características físico químicas, por efecto de la fermentación y secado del cacao (*Theobroma cacao* L.) cultivar CCN 51.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Características del cacao (*Theobroma cacao* L.) cultivar CCN 51 en baba y fermentado

Composición proximal del cacao (*Theobroma cacao* L.) cultivar CCN 51 en baba

En la Tabla 2 se presenta la composición proximal en base seca de los granos de cacao en baba, extraídos de las mazorcas de cacao (*Theobroma cacao* L.) cultivar CCN 51. Resultados similares fueron encontrados por Romel et. al. (2008), quienes reportaron el contenido proximal en base seca de cacao fresco y fermentado encontrando que la humedad fue 57,85%; aceites y grasas 54,45%; cenizas 5,73%; proteína 12,44% y fibra 2,65%.

Tabla 2.

Composición proximal del cacao en baba cultivar CCN 51

Muestra	Humedad	Aceites y grasas	Cenizas	Fibra	Proteína
Base seca	140,5	52,9	6,5	4,1	13,2
Base húmeda	58,4	22	2,7	1,7	5,5

Evaluación del color de la almendra del cacao cultivar CCN 51 fermentados

Los resultados de los parámetros de color (L^* ; a^* y b^*), se muestran en la Tabla 3. Mostrando menor oscurecimiento los granos fermentados a 0,2 metros respecto a otra altura, posiblemente se deban a la menor ventilación y mayor temperatura de la masa de granos facilitando las reacciones de oxidación enzimática. Al respecto, Chire et al. (2016) estudiaron la relación de los valores que integran el color de los granos de cacao nativo mezcla de granos tinto y blancos durante el proceso de fermentación reportaron valores promedio del color que comprendieron L^* de 52,03 a 53,525; a^* de 12,64 a 11,66 y b^* de 12,59 a 3,87 en granos de cacao en el proceso de fermentación.

Además, se observa que el mayor valor de cromaticidad a^* es en la muestra de cacao fermentado a 1 m de altura con un valor de a^* de 20,49, seguido de la muestra fermentada a 2 m con a^* de 18,78 y el más bajo a 0,2 m con a^* de 8,33. El mayor valor de b^* es 13,96 de granos fermentados a 2 m del cajón fermentador. Ortiz, et al. (2009) consideran que, el oscurecimiento de los granos durante el proceso fermentativo es producido por la hidrólisis de las antocianinas y la posterior oxidación de las agliconas resultantes a compuestos quinónicos, los cuales contribuyen al color pardo propio del cacao fermentado. Y este color difiere entre los tipos de grano.

Tabla 3.

*Resultados promedio de los parámetros de color de las almendras de cacao (*Theobroma cacao* L.) cultivar CCN 51, fermentado a diferentes alturas*

Tipo de secado	L^*	a^*	b^*
A 0,2 m de altura	15,18±0,21 ^a	8,33±0,32 ^a	7,96±0,26 ^a
A 1 m de altura	10,80±0,02 ^b	20,49±0,26 ^b	12,80±0,05 ^b
A 2 m de altura	11,83±0,19 ^c	18,78±0,61 ^c	13,96±0,12 ^c

La combinación de los valores triestimulos L^* , a^* y b^* dan un color marrón pardo oscuro debido a la descomposición parcial de las antocianinas y a la oxidación parcial de los polifenoles influido especialmente por la enzima polifenoloxidasas que imparten este color característico. Emmanuel et al. (2012) y Afoakwa et al. (2011) observaron que, las muestras se volvieron más oscuras a medida que aumentaba la fermentación y la luminosidad también disminuyó progresivamente con el aumento del almacenamiento.

Contenido de polifenoles (g de Equivalente de Ácido Gálico/100g de m. s.) del cacao cultivar CCN 51 en baba y durante la fermentación

En la Tabla 4 se observa el contenido de polifenoles en muestras de granos de cacao posterior al proceso de fermentación a diferentes alturas. Wollgast & Anklam (2000) encontraron en granos de cacao Forastero no fermentados contenidos de polifenoles totales de 12-18g EAG/100g de m. s. Además, se observa que el mayor contenido de polifenoles a las 156 horas de fermentación se encuentra en los granos de cacao fermentados a 1 metro de altura del cajón fermentador con $12,58 \pm 0,22$ g EAG/100g de m. s., a 0,2 metros y 2 metros con contenidos de $12,35 \pm 0,36$ g EAG/100g de m. s. y $12,36 \pm 0,36$ g EAG/100g de m. s., respectivamente.

Al respecto, los polifenoles en estado natural se encuentran compactados en vacuolas de células específicas, se difunden a través del cotiledón durante la fermentación del cacao (Brito et al., 2002) y se someten a modificación bioquímica a través de la polimerización y la complejación con la proteína, dando como resultado la disminución de la solubilidad y la astringencia de las almendras del cacao sin fermentar (Bonvehi y Coll, 1997). Los polifenoles en el cacao se reducen durante la fermentación y por lo tanto la capacidad antioxidante del cacao también (Aikpokpodion & Dongo, 2010). El polifenol oxidasa es la oxidasa principal en los granos de cacao y es responsable de catalizar la oxidación de polifenoles durante los procesos de fermentación y secado. Se dice que esta enzima se activa durante la fase aeróbica de la fermentación como resultado del oxígeno que permea el cotiledón (Thompson et al., 2001).

Efraim et al. (2010) mencionan que, el contenido de compuestos fenólicos se redujo en 35% al tercer día y 59% en el séptimo día de la fermentación, valores mucho mayores a los obtenidos en esta investigación, y es posible se deba a una serie de factores internos como los genotipos, grado de madurez del grano, edad de la planta y externos como condiciones climáticas, tiempo de aguante, tipo de fermentadores, reacciones enzimáticas y presencia del ácido acético.

Contenido promedio de antocianinas (mg cianidina-3-glucosido/g de m. s.) del cacao cultivar CCN 51 en baba y durante la fermentación

En la Tabla 4 se observa que el mayor contenido de antocianinas a las 156 horas de fermentación se encuentra en los granos de cacao fermentados a 0,2 metros de altura del cajón fermentador con $3,36 \pm 0,11$ de mg cianidina-3-glucosido/g de m. s., seguido de 1 metro con contenido de $1,92 \pm 0,31$ mg cianidina-3-glucosido/g de m. s. y 2 metros con contenido de $1,80 \pm 0,52$ mg cianidina-3-glucosido/g de m. s. En la Tabla 4, se encontró en el cacao en baba $5,78 \pm 0,37$ mg cianidina-3-glucosido/g de m. s., disminuyendo hasta en un 68,77% para el cacao fermentado, a una altura del cajón fermentador de (2m.), siendo el que mayor reducción experimentó. El menor porcentaje de degradación (42,38%) de las antocianinas fue cuando el proceso de fermentación se realizó a una altura del cajón fermentador a (0,2m.), a 1 y 2m. de altura se perdieron 66,54 y 68,77% de antocianinas, respectivamente.

Tabla 4.

Evolución de la temperatura, pH de la almendra, contenido de polifenoles totales (g EAG/100g de m. s.) y antocianinas (mg cianidina-3-glucosido/g de m. s.) del grano en baba y durante la fermentación del cacao (*Theobroma cacao L.*) cultivar CCN 51

Tiempo de fermentación	A 0,2 metros de altura				A 1 metro de altura				A 2 metros de altura					
	Temperatura. °C	pH Cotiledón	Polifenoles totales (g EAG/100g de m. s.)	antocianinas (mg cianidina-3-glucosido/g de m. s.)	Temperatura °C	pH Cotiledón	Polifenoles totales (g EAG/100g de m. s.)	antocianinas (mg cianidina-3-glucosido/g de m. s.)	Temperatura °C	pH Cotiledón	Polifenoles totales (g EAG/100g de m. s.)	antocianinas (mg cianidina-3-glucosido/g de m. s.)		
0 hrs.	31,00±0,00	6,46±0,04	15,14±0,14 ^a	5,78±0,37 ^a	31,00±0,00	6,46±0,04	15,14±0,14 ^a	5,78±0,37 ^a	31,00±0,00	6,46±0,04	15,14±0,14 ^a	5,78±0,37 ^a		
48 hrs (2 días)	34,00±0,82	6,20±0,59	13,97±0,26 ^b	4,92±0,26 ^b	34,00±0,82	6,18±0,58	13,40±0,25 ^b	4,41±0,29 ^b	34,00±0,82	6,26±0,59	14,15±0,35 ^b	4,96±0,31 ^a		
96 hrs (4 días)	52,30±0,50	4,68±0,17	13,34±0,26 ^b	4,36±0,35 ^b	52,30±0,96	4,53±0,32	12,79±0,25 ^c	3,18±0,23 ^c	51,30±0,78	5,76±0,19	13,29±0,38 ^c	3,90±0,20 ^c		
156 hrs (6 1/2 días)	45,00±0,82	4,40±0,18	12,35±0,36 ^c	3,36±0,11 ^c	44,00±0,82	4,45±0,13	12,58±0,22 ^c	1,92±0,31 ^b	40,00±1,63	4,46±0,18	12,36±0,36 ^d	1,80±0,52 ^d		
Degradación (%)			18,39	42				13,35	66,73				18,4	68,77

Nota: Letras diferentes indican la existencia significativa a un (p<0,05) a un nivel de confianza del 95% para las diferentes alturas de ubicación de los cajones fermentadores.

El análisis de varianza determinó diferencias significativas entre los resultados de las medias de antocianina en las 3 alturas de ubicación de los cajones fermentadores. La degradación posiblemente se deba a la mayor rapidez de las reacciones de oxidación por presencia del aire ambiental circundante y el calor producido al cuarto día el que fue superior a los 50°C al interior del cajón fermentador. Adams (1973) informó que la antocianina se descompone al calentarse en una estructura de chalcona, siendo ésta última transformada en un derivado de cumarina glucósido con pérdida del anillo, Seeram et al. (2001) demostraron que, las altas temperaturas en combinación con un alto pH causan la degradación de las antocianinas que dan como resultado tres derivados diferentes del ácido benzoico. Por otro lado, la presencia de oxígeno acelera la degradación de las antocianinas ya sea a través de un mecanismo de oxidación directa. En aplicaciones de control de calidad, la pérdida de antocianina ha sido considerada como una buena fermentación de los granos de cacao, junto con la formación de un color marrón. Por lo tanto la prueba de corte y las mediciones del índice de fermentación se basan en los cambios de color en los cotiledones durante la fermentación (Shamsuddin & Dimick, 1986).

De acuerdo a los resultados, la mejor muestra obtenida en la fermentación fue la ubicada a 1 metro de altura del cajón fermentador, por lo que fue seleccionada para continuar con la investigación.

Variación promedio de la temperatura, sólidos solubles de la masa y pH del cotiledón antes y durante la fermentación

En la Tabla 4 se observan los resultados de las variaciones del pH del cotiledón durante los seis días y doce horas de fermentación. Se aprecia que la variación del cotiledón lo hacen de manera proporcional durante la fermentación, posiblemente debido a la mayor exposición del flujo de aire en el área de fermentación, es decir a mayor altura mayor pH. Al respecto, Sanagi et al. (1997) mencionan que, el pH del cacao disminuye ligeramente después de 3 días de fermentación. Schwan & Wheals (2004b) indica que el pH del cacao no fermentado apropiadamente oscila entre 5,7 y 6. Respecto al contenido de sólidos solubles se puede observar que a las 48 horas de fermentación en los cajones fermentadores ubicados a 0,2; 1 y a 2 metros, varían de 19,5 hasta 16,4; 15 y 12 a partir del tercer día no se encuentran sólidos solubles, a mayor altura de ubicación del cajón fermentador mayor fermentación de los sólidos solubles en función a la altura. Biehl et al. (1985), encontraron disminución de los niveles de glucosa y fructosa en las almendras de cacao durante la fermentación.

A las 96 horas de la fermentación del cacao, se observó que la temperatura máxima del grano en los fermentadores oscila entre 51°C y 52,3 °C. Esto con variaciones de la temperatura ambiente de 28 a 33°C entre los días y noches de fermentación durante el periodo de fermentación de esta investigación. Los granos de cacao normalmente fermentan entre cinco y siete días y es rica en glucosa, fructosa y sacarosa (10-15%). (Apriyanto, 2016), el procesamiento de granos de cacao requiere un pH entre 5,2 a 5,8 para producir manteca de cacao de alta calidad. Jespersen et al. (2005) indican que, en las fases iniciales de la fermentación el crecimiento de las levaduras es favorecido por el alto contenido de azúcar, bajo pH y disponibilidad limitada de oxígeno en la pulpa. La fermentación reduce el nivel de amargor y astringencia del grano de cacao atribuida a la pérdida de polifenoles durante la fermentación (Reineccius et al., 1972)

La Tabla 4 indica un incremento lento de temperatura en los dos primeros días de fermentación, luego se da un crecimiento acelerado de la temperatura alcanzando su pico máximo al cuarto día con una temperatura máxima de 52,3°C en los cajones a una altura de 0,2 y 1 metros y de 51,3°C en el cajón a una altura de 2 metros, provocando la muerte del embrión de la semilla de cacao y el desarrollo de los precursores sensoriales del grano de cacao. Al respecto CAOBISCO/ECA/FCC (2015), indica que durante el proceso de fermentación se genera calor, el mismo que puede alcanzar temperaturas aproximadamente de 50°C dentro de la masa de granos. Asimismo, la fermentación del cacao es esencial para la obtención de almendras de buena calidad (Silva et al., 2014).

4.2. Efecto del secado de los granos de cacao (*Theobroma cacao* L.) cultivar CCN 51

Degradación de los polifenoles durante el secado de las almendras del cacao (*Theobroma cacao* L.) cultivar CCN 51

La Tabla 5 muestra el efecto del método de secado en el contenido de polifenoles totales de las almendras de cacao. Se aprecia que las muestras secadas con flujo de aire caliente son las que experimentaron menor porcentaje de degradación de los polifenoles respecto a las muestras secadas en cámara de secado solar y directo al sol. Durante el secado los ácidos orgánicos inducen una reacción enzimática en el interior de las almendras, dando como resultado cambios bioquímicos que generan varios compuestos críticos para el aroma, el sabor y la formación de color (Biehl et al., 1985). Considerando el secado en diferentes tipos de secadores, Efraim et al. (2010) encontraron que, los granos de cacao fermentados durante 3 días, mostraron pérdidas de polifenoles de 19,1% (Secado al horno) y 10,8% (secado al sol) y que granos de cacao fermentado durante 7 días mostró pérdidas de polifenoles de 11,6% (secado en horno) y 2,8% (secado al sol), resultados que difieren a los encontrados en esta investigación.

Abhay et al. (2016) mencionan que, existen beneficios potenciales de los polifenoles de cacao para la salud del ser humano. La composición y la cantidad de polifenoles en los granos de cacao varían fuertemente con el tipo de almendra, el origen y los métodos de procesamiento. Típicamente, los contenidos de polifenoles de cacao son de aproximadamente 6 a 8% en peso de un cacao seco fermentado (Crozier et al., 2011). Hii et al. (2012), evaluaron la degradación de polifenoles en muestras de cacao secadas a 60°C y 80°C, determinaron que la retención de polifenoles es mayor a 60°C, mientras que, a temperatura inferior a 70 °C, el mecanismo de degradación podría atribuirse principalmente a la acción enzimática.

Tabla 5.

*Efecto del método de secado en el contenido de polifenoles (g EAG/100g de m. s.) totales en granos de cacao (*Theobroma cacao* L.) cultivar CCN 51 seco*

Método de Secado	Polifenoles totales (g EAG/100g de m. s.)						Degradación de polifenoles (%)
	0 hr.	48 hr.	60 hr.	96 hr.	108 hr.	120 hr.	
Cámara de secado solar	13,12±0,22 ^d	9,63±0,47 ^c	8,56±0,90 ^{bc}	7,87±0,44 ^b	7,49±0,11 ^a	6,81±0,45 ^a	48,1
Directo al sol	13,12±0,22 ^c	12,07±1,42 ^{bc}	11,15±0,48 ^{bc}	10,21±0,61 ^{ab}	8,30±0,72 ^a		36,7
Secador flujo de aire caliente	13,12±0,22 ^a	10,04±0,30 ^b	9,19±0,31 ^c				29,9

Efecto del método de secado sobre las antocianinas en almendras de cacao (*Theobroma cacao* L.) cultivar CCN 51 seco

La Tabla 6 muestra el contenido de antocianinas en los granos de cacao por efecto del tipo de secador utilizado. El secado con aire caliente conservó más antocianina, reportando una menor degradación (65,23%) en comparación con los otros dos métodos de secado. La magnitud y temporalidad del calentamiento tienen fuerte influencia sobre la estabilidad de las antocianinas; al respecto, Rhim (2002) concluyeron que el contenido de antocianinas de baya de saúco es muy sensible al tratamiento térmico, después de 3 h de calentamiento, sólo el 50% de pigmentos de saúco se conservaron a 95°C. El comportamiento de destrucción de antocianinas con un aumento aritmético en la temperatura es del tipo logarítmico. Esto sugiere que los factores termo lábil pueden acelerar la destrucción del pigmento antocianínico y apoya la hipótesis de que las enzimas endógenas en las frutas causan la destrucción del pigmento en el procesamiento del jugo (Patras et al., 2010).

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se recomienda el secado en equipos con flujo de aire caliente, debido a que con este método se conservan en mayor porcentaje los polifenoles totales y las antocianinas en mejor medida que con el secado directo al sol y con cámara de cámara de secado solar.

Tabla 6.

*Efecto del método de secado en contenido de las antocianinas (mg cianidina-3-glucósido/g) en almendras de cacao (*Theobroma cacao* L.) cultivar CCN 51 seco*

Método de secado	Antocianinas (mg cianidina-3-glucósido/g)						Degradación de antocianinas (%)
	0 hrs.	48 hrs.	60 hrs.	96 hrs.	108 hrs.	120hrs.	
Cámara de secado solar	1,99±0,05 ^e	1,23±0,05 ^d	1,07±0,09 ^c	0,91±0,1 ^{bc}	0,46±0,04 ^{ab}	0,40±0,03 ^a	80,1
Directo al sol	1,99±0,05 ^d	1,27±0,12 ^c	0,97±0,04 ^b	0,82±0,08 ^b	0,48±0,06 ^a		75,8
Secador flujo de aire caliente	1,99±0,05 ^c	1,36±0,08 ^b	0,69±0,1 ^a				65,32

4.3. Caracterización de las almendras de cacao cultivar CCN 51 secados con flujo de aire caliente

Caracterización física de almendras de cacao cultivar CCN 51 seco

En la Tabla 7 se muestran los resultados de la caracterización física de los granos de cacao secados con flujo de aire caliente. Estos resultados se encuentran dentro de los estándares de calidad mencionadas por Stevenson et al. (1993), quienes mencionan que, en un proceso de fermentación normal se debe encontrar como máximo 2% de almendras pizarrosas, 35% de almendras parcial o totalmente violetas. La fermentación es de vital importancia, Shamsuddin & Dimick (1986) mostraron que la muestra que tenía alto grado de fermentación alcanzó el mayor puntaje en sabor. Peláez et al. (2016) encontraron que, 87,3 ±1% de fermentación con remoción manual.

Tabla 7.

*Caracterización física del grano de cacao (*Theobroma cacao* L.) cultivar CCN 51 secados con flujo de aire caliente*

Evaluación	Grano de cacao seco (%)
Enmohecidos	0
Pizarrosos	2
Violáceos	8
Pasillas	0
Porcentaje de fermentación	90

Evaluación del color de almendras de cacao (*Theobroma cacao* L.) cultivar CCN 51 seco con diferentes métodos de secado

En la Tabla 8 se presentan los resultados de la evaluación de los parámetros del color de las almendras de cacao secadas. Al respecto, Bonaparte et al. (1998) encontraron puntajes más altos de color en almendras de cacao secados directo al sol y el más bajo en secador solar. Los granos de cacao secados directo al sol mostraron el valor más bajo de "a" (menos rojo) y estuvieron entre los valores más altos de "b" (menos azul), teniendo así el menor de los pigmentos morados deseables. Aplicando secado indirecto a los granos de cacao tenía el valor más alto para "a*" y un valor de "b*" ligeramente inferior, aunque no significativamente. Los pigmentos morados fueron más visibles y enmascararon cada vez más los pigmentos pardos, ya que los valores de "b*" disminuyeron por debajo de 10 en el medidor de color.

Tabla 8.

Resultados promedios de los parámetros de color de los granos de cacao (*Theobroma cacao L.*) cultivar CCN 51 sometidos a diferentes métodos de secado

Tipo de secado	L*	a*	b*
Cámara de Secador solar	23,66±0,19	13,34±0,08	10,34±0,03
Directo al sol	9,52±0,01	17,10±0,05	12,33±0,04
Secador flujo con aire caliente	16,31±0,07	16,44±0,04	11,18±0,07

Composición físico química de almendras de cacao (*Theobroma cacao L.*) cultivar CCN 51 secado con flujo de aire caliente

En la Tabla 9 se muestran los resultados de los análisis fisicoquímicos de las almendras de cacao secadas con flujo de aire caliente. En lo que concierne a proteína, Aremu et al. (1995) encontraron 15,2 – 19,8%, Bertazzo et al. (2011) 12 y 15,7%; sobre grasas éstos últimos autores reportaron de 46,2 a 53,6% según la procedencia de las almendras de cacao; respecto a la humedad, Silva et al. (2014) encontraron que, de las almendras secas variaron en el rango 4,03 - 7,48 en tres lotes para dos formas de secado, por lo que para todos los ensayos que consideraron los valores se situaron por debajo del límite del 8%, establecido por las especificaciones de estandarización recomendada por Brasil (2008).

Respecto a la concentración de polifenoles totales en la Tabla 9 se observa 7,59 g EAG/100g de muestra secada con flujo de aire caliente desengrasado y un contenido de 0,64 mg cianidina-3-glucosido/g de antocianinas. Al respecto, Nazario et al. (2013) encontrando el mayor contenido de polifenoles totales en clones de cacao forastero y trinitario con valores de 5,72±0,039 y 5,59±0,051 g EAG/100g respectivamente, en segundo lugar, en contenido de polifenoles por el CCN 51 con 5,18±0,03 g EAG/100g. En cuanto al contenido de antocianinas se encontró que el CCN 51 tenía 0,43±0,003 y el Criollo 0,42±0,004 mg cianidina-3-glucósido/g de muestra.

En la Tabla 9 se observa que el valor promedio del pH es de 5,22. Comparando este valor con los valores encontrados por INIA y GTZ (2005) para cotiledones secos con pre secado para CCN 51 descendieron de pH 6,29 hasta 5,40 y sin pre secado de 6,40 hasta 5,38. Por lo tanto se puede concluir que el pH (5,22) de ésta investigación se encuentra dentro de los parámetros encontrados por INIA y GTZ (2005). En la Tabla 9, se muestra el valor promedio de acidez equivalente a 0,25 g. de ácido acético /100 gramos de almendra. Al respecto, (Nogata et al., 2006) en su investigación evaluación de la calidad comercial del grano de cacao usando dos tipos de fermentadores, encontraron 0,37 ± 0,06 y 0,35 ± 0,06 de acidez para con 96 y 48 horas de fermentación, ambas secadas al sol. La disminución de los valores de acidez, “principalmente de los ácidos volátiles y libres en los granos fermentados y secados al sol coincide con el mayor descenso del contenido de humedad durante el secado” (Chire et al., 2016)

Tabla 9.

Composición fisicoquímica de las almendras de cacao (*Theobroma cacao L.*) cultivar CCN 51 secado con flujo de aire caliente

Características físico químicas	Base seca
Polifenoles totales (g EAG/100g de m. s.)	8,13
Antocianinas (mg cianidina-3-glucosido/g de m. s.)	0,64
Acidez titulable (g. de ác. acético /100g. m. s.)	0,32
pH	5,22
Humedad (%)	6,6
Lípidos (%)	51
Fibra cruda (%)	6
Cenizas (%)	3,5
Proteína (%)	13,2
Carbohidratos totales (%)	26,6

CONCLUSIONES

La altura de los cajones fermentadores indicó que la menor degradación de polifenoles se dio a 1 m (13,35%), sin embargo, la evaluación estadística reportó que no hay diferencias significativas a 0,2, 1 y 2 m. La menor degradación de antocianinas (18,4%) fue a 0,2 m de altura del cajón fermentador, existiendo diferencia significativa entre las tres alturas estudiadas. Respecto al color, la evaluación estadística indicó diferencias significativas en los tres niveles, obteniendo un mejor color en muestras fermentadas a 1 m de altura.

La menor degradación de polifenoles se obtuvo en muestras secadas con flujo de aire caliente (29,9%) y antocianinas (65,32%). Existió diferencias significativas para polifenoles en muestras secadas directo al sol y en secador solar, para antocianinas no existió diferencia significativa con los tres métodos de secado. Los parámetros del color obtenido fueron $16,31 \pm 0,07$; $16,44 \pm 0,04$; $11,18 \pm 0,07$ para L^* , a^* y b^* , respectivamente en muestras deshidratados con flujo de aire caliente a 55°C .

Las almendras de cacao obtenidas reportaron: 8,13 (g EAG/100g de m. s.); 0,64 (mg cianidina-3-glucosido/g de m. s.); 0,32(g. de ácido acético /100g de m. s.); 5,22%; 6,6%; 51%; 6%; 3,5%; 13,2% y 26,6% de, polifenoles totales, antocianinas, acidez titulable, pH, humedad, lípidos, fibra cruda, cenizas, proteína y carbohidratos totales (análisis proximal en b. s.), respectivamente.

FINANCIAMIENTO

Ninguno.

CONFLICTO DE INTERESES

No existe ningún tipo de conflicto de interés relacionado con la materia del trabajo.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: Chávez Salazar, A., Guevara Pérez, A. y Encina Zelada, C.

Curación de datos: Guevara Pérez, A., Encina Zelada, C. y Vidaurre-Rojas, P.

Análisis formal: Chávez Salazar, A., Guevara Pérez, A. y Encina Zelada, C.

Investigación: Chávez Salazar, A., Guevara Pérez, A., Encina Zelada, C., Vidaurre-Rojas, P. y Muñoz-Delgado, V.

Metodología: Guevara Pérez, A. y Encina Zelada, C.

Administración del proyecto: Chávez Salazar, A. & Guevara Pérez, A.

Recursos: Chávez Salazar, A.; Guevara Pérez, A., Encina Zelada, C., Vidaurre-Rojas, P. y Muñoz-Delgado, V.

Supervisión: Chávez Salazar, A. y Encina Zelada, C.

Validación: A.; Encina Zelada, C., Vidaurre-Rojas, P. y Muñoz-Delgado, V.

Redacción - borrador original: Chávez Salazar, A. y Guevara Pérez, A.

Redacción - revisión y edición: Encina Zelada, C., Vidaurre-Rojas, P. y Muñoz-Delgado, V.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adams, J. B. (1973). Thermal degradation of anthocyanin with particular reference on 3 glucosides of cyanidin. In acidified aqueous solution at 100°C . *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 24, 747–762. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740240702>

Aelson, S., Lía, F., & Marisa, A. (2009). Métodos de extração e qualidade da fração lipídica de matérias-primas de origen vegetale animal. *Química Nova*, 32, 4849–4854. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000400005>

- Afoakwa, E. O., Paterson, A., Fowler, M., & Ryan, A. (2008). Flavour formation and character in cocoa and chocolate: a critical review. *Crit Rev Food Sci Nutr*, *48*, 840–857. <https://doi.org/10.1080/10408390701719272>
- Afoakwa, E. O., Quao, J., Budu, A. S., Takrama, J., & Saalia, F. K. (2011). Effect of pulp- preconditioning on polyphenolic content and anthocyanin concentrations during fermentation of Ghanaian cocoa beans. *Institute of Food Technologists (IFT)*.
- Afoakwa, E., Quao, J., Takrama, J., & Budu, A. (2013). Chemical composition and physical quality characteristics of Ghanaian cocoa beans as affected by pulp pre-conditioning and fermentation. *Food Science and Technology*, *50*(December), 1097–1105. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0446-5>
- Álvarez, C. O., Pérez, E. E., & Lares, M. del C. (2022). Beneficio del cacao Criollo venezolano: variaciones en composición proximal, metilxantinas y polifenoles. *RIVAR (Santiago)*, *9*(27), 113–128. <https://doi.org/10.35588/RIVAR.V9I27.5625>
- Álvarez, C., Tovar, L., García, H., Morillo, F., Sánchez, C., & De Farias, A. (2010). Evaluación de la calidad comercial del grano de cacao (*Theobroma cacao* L.) usando dos tipos de fermentadores. *Revista Científica UDO Agrícola*, *10*(1), 76–87.
- Andrade, J. A., Rivera-García, J., Chire-Fajardo, G. C., & Ureña-Peralta, M. O. (2019). Physical and chemical properties of cacao cultivars (*Theobroma cacao* L.) from Ecuador and Peru. *Enfoque UTE*, *10*(4), 1–12. <https://doi.org/10.29019/ENFOQUE.V10N4.462>
- AOAC. (2005). *Official Methods of analysis of the Association of Official Agriculture Chemistry*. (18ava Ed.).
- Apriyanto, M. (2016). Changes in Chemical Properties of Dried Cocoa (*Theobroma cacao*) Beans during Fermentation. *Intl. J. Food. Ferment.*, *5*(June), 11–16. <https://doi.org/10.5958/2321-712X.2016.00002.8>
- Aremu, C. Y., Agiang, M. A., & Ayatse, J. (1995). Nutrient and anti-nutrient profiles of raw and fermented cocoa beans. *Plant Foods Human Nutr.*, *48*, 221–223. <https://doi.org/10.1007/BF01088443>
- Bertazzo, A., Comai, S., Brunato, I., Zancato, M., & Costa, C. V. L. (2011). The content of protein and non-protein (free and protein-bound) tryptophan in *Theobroma cacao* beans. *Food Chemistry*, *124*(1), 93–96. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.05.110>
- Biehl, B., Brunne, E., Passern, D., Quesnel, V., & Adomako, D. (1985). Acidification, proteolysis and flavour potential in fermenting cocoa beans. *Sci Food Agriculture*, *36*, 583–598. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740360710>
- Biehl, B., Meyer, B., Said, M., & Samarakoddy, R. (1990). Bean spread- ing: a method of pulp preconditioning to impair strong nib acidification during cocoa fermentation in Malaysian. *J Food Agriculture*, *51*, 35–45. <https://doi.org/doi.org/10.1002/jsfa.2740510105>
- Bonaparte, A., Alikhani, Z., Madramootoo, C. A., & Vijaya, R. (1998). Some Qualit y Characteristics of Solar-Dried Cocoa Beans in St Lucia. *Journal Scientiae Food Agric.*, *553*.
- Bonvehi, J., & Coll, F. (1997). Evaluation of the bitterness and astringency of polyphenolic compppunds in cocoa powder. *Food Chemistry*, *60*, 365–370. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(96\)00353-6](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(96)00353-6)
- BRASIL., M. da A. P. e A. (2008). Regulamento Técnico da Instrução Normativa nº 57, de 12 de nov. de 2008. Regulamento Técnico da Amêndoa de Cacao. In *Diário Oficial da União, Brasília* (Vol. 15).
- Brito, E. ., Garcia, N., Galla, o M., Cortelazzo, A., Fevereiro, P., & Braga, M. (2000). Structural and chemical changes in cocoa (*Theobroma cacao*) during fermentation, drying and roasting. *J. Sci. Food Agric.*, *81*, 281–288. [https://doi.org/10.1002/1097-0010\(20010115\)81:2<281::AID-JSFA808>3.0.CO;2-B](https://doi.org/10.1002/1097-0010(20010115)81:2<281::AID-JSFA808>3.0.CO;2-B)

- Brito, E., García, N. H. P., & Amâncio, A. C. (2002). Effect of polyphenol oxidase (PPO) and air treatments on total phenol and tannin content of cocoa nibs. *Ciênc, Tecnol. Alimen, Campinas*, 22(1), 45–48. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612002000100008>
- Chire, G. C., Verona, P. A., & Guzmán, J. H. (2016). Cambios en el color durante el beneficio del grano de cacao (*Theobroma cacao* L.) Peruano procedente de Piura. *Ciencia e Investigación*, 19(1), 29–34. <https://doi.org/10.15381/ci.v19i1.13625>
- Crozier, S. J., Preston, A. G., Hurst, W. J., Payne, M. J., & Mann, J. (2011). Cacao seeds are a “super fruit”: A comparative analysis of various fruit powders and products. *Chemistry Central Journal*, 5, 1–6. <https://doi.org/10.1186/1752-153X-5-5>
- Cuevas, M., Antezana, A., & Winterhalter, P. (2008). Análisis y caracterización de antocianinas en diferentes variedades de maíz boliviano. *Memorias Red-Alpha-Lagrotech. Comunidad Europea. Cartagena.*, 79–95.
- Drdak, M., & Daucik, P. (1990). Changes of elderberry (*Sambucus nigra*) pigments during the production of pigment concentrates. *Acta Aliment.*, 19, 3–7.
- Emmanuel, O. A., Jennifer, Q., Agnes, S. B., Jemmy, S. T., & Firibu, K. S. (2012). Influence of pulp-preconditioning and fermentation on fermentative quality and appearance of Ghanaian cocoa (*Theobroma cacao*) beans. *International Food Research Journal*, 19(1), 127–133.
- Fenglin, G., Lehe, T., Huasong, W., Yiming, F., Fei, X., Zhong, C., & Qinghuang, W. (2013). Comparison of Cocoa Beans from China, Indonesia and Papua New Guinea. *Foods*, 2, 183–197. <https://doi.org/10.3390/foods2020183>
- García-Rincón, P. A., Núñez-Ramírez, J. M., & Bahamón-Monje, A. F. (2021). Physicochemical and sensory characteristics of fermented almonds of national cacao (*Theobroma Cacao* L.) with addition of probiotics in the amazonic research center, Cimaz Macagual (Caquetá, Colombia). *Ingeniería y Competitividad*, 23(2), e21210885. <https://doi.org/10.25100/IYC.V23I2.10885>
- Gutierrez, S. M. (2007). *Manual Practicas de Control de Calidad de Cacao en Centro de Acopio. Lima – Perú.*
- Guzmán-Bautista, J., & Chire-Fajardo, G. (2019). Evaluación de la cadena de valor del cacao *Theobroma cacao* l. peruano. *Enfoque UTE*, 10(1), 97–116. <https://doi.org/10.29019/ENFOQUEUTE.V10N1.339>
- Hansen, C. E., Olmo, M. del, & Burri, C. (1998). Enzyme activities in cocoa beans during fermentation. *J. Sci. Food Agric.*, 77, 273–281.
- Havlikova, L., & Mikova, K. (1985). Heat stability of anthocyanins. *Z LebensmUnters Forsch*, 181, 427–432.
- Hii, C. L., Law, C. L., Cloke, M., & Suzannah, S. (2009). Thin layer drying kinetics of cocoa and dried product quality. *Biosyst. Eng.*, 102, 153–161.
- INIA Y GTZ. (2005). Influencia del preseado de las almendras sobre la evolución del pH y porcentajes de fermentación durante la época seca en las variedades de cacao CCN-51 y Nacional. *Estación Experimental Tropical Pichilingue Programa Nacional de Cacao y Café*, 1.
- Jespersen, L., Nielsen, D., Honholt, S., & Jakobsen, M. (2005). Occurrence and diversity of yeasts involved in fermentation of West African cocoa beans. *FEMS Yeast Research*, 5, 441–453.
- Jinap, M., Nazamid, S., & Jamilah, B. (2002). Activation of remaining key enzymes in dried under-fermented cocoa beans and its effect on aroma precursor formation. *Food Chem.*, 78, 407–417.
- Jolic, S. M., Redovnikovic, I. R., Markovic, K., Durdica, S., & Karmela, D. (2011). Changes of phenolic compounds and antioxidant capacity in cocoa beans processing. *Journal of Food Science and*

Technology, 46, 1793–1800.

- Kasmin, M. O., & Nursalam. (2019). Analysis of the competitiveness of cocoa commodity (*Theobroma cacao* L.) in Kolaka Regency. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 382(1), 012010. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/382/1/012010>
- Keller, J., Jung, M., & Lasch, R. (2022). Sustainability Governance: Insights from a Cocoa Supply Chain. *Sustainability*, 14(17), 10763. <https://doi.org/10.3390/SU141710763>
- Kramling, T. E., & Singleton, V. E. (1969). An estimate of nonflavonoid phenols in wines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 20(2), 86–92.
- Kyi, T. M., Daud, W. R. W., Mohammad, A. B., Samsudin, M. W., Kadhum, A. A. H., & Talib, M. Z. M. (2005). The kinetics of polyphenol degradation during the drying of Malaysian cocoa beans. *J. Food Sci. Technol.*, 40, 323–331. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.00959.x>
- Ladaniya, M. (2008). Citrus fruit biology. San Diego, United States of America. *Elsevier*, 149–150.
- Lenou Nkouedjo, L., Mathe, S., Fon, D. E., Geitzenauer, M., & Awah Manga, A. (2020). Cocoa marketing chain in developing countries: How do formal-informal linkages ensure its sustainability in Cameroon? *Geoforum*, 117, 61–70. <https://doi.org/10.1016/J.GEOFORUM.2020.09.005>
- Li, K. D. T. (2020). Functional upgrading dynamics of latecomer firms in challenging innovation system and global value chain contexts: evidence from cacao-chocolate firms in the Philippines. *Innovation and Development*, 12(3), 363–387. <https://doi.org/10.1080/2157930X.2020.1853959>
- López Cuadra, Y. M., Cunias Rodríguez, M. Y., & Carrasco Vega, Y. L. (2020). El cacao peruano y su impacto en la economía nacional. *Universidad y Sociedad*, 12(3), 344–352.
- Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Remesy, C., & Jimenez, L. (2004). Polyphenols: food sources and bioavailability. *Am.J. Clin Nutr.*, 79, 727 – 749. <https://doi.org/10.1093/ajcn/79.5.727>
- MINAGRI. (2022). *Observatorio de COMMODITIES: Cacao*.
- Nazario, O., Ordoñez, E., Mandujano, Y., & Arévalo, J. (2013). Polifenoles totales, antocianinas, capacidad antioxidante de granos secos y análisis sensorial del licor de cacao (*Theobroma cacao* L.) criollo y siete clones. *Investigación y Amazonia*, 3(1), 51–59.
- 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. *Crops Prod.*, 24, 87–94. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2006.03.013>
- Nogata, Y., Sakamoto, K., Shiratsuchi, H., Ishii, T., Yano, M., & Ohta, H. (2006). Flavonoid Composition of Fruit Tissues of Citrus Species. *Biosci. Biotechnol. Biochem*, 70(1), 178–192. <https://doi.org/10.1271/bbb.70.178>
- NTP - ISO 1114. (2016). Granos de cacao. Prueba de corte. *Norma Técnica Peruana*.
- Ortiz, L., Graziani, L., & Rovedas, G. (2009). Influencia de varios factores sobre características del grano de cacao fermentado y secado al sol. *Agronomía Trop.*, 2(59), 19–27.
- Patras, A., Nigel P., B., Colm, O., & Tiwari, B. K. (2010). Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods : Mechanisms and kinetics of degradation Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods ; mechanisms and kinetics of degradation. *Trends in Food Science & Technology*, 21(1), 3–11. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.07.004>
- Peláez, P., Guerra, S., & Contreras, D. (2016). Changes in physical and chemical characteristics of fermented cocoa (*Theobroma cacao*) beans with manual and semi-mechanized transfer, between

- fermentation boxes. *Scientia Agropecuaria*, 7(2), 111–119.
<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.02.04>
- Pérez, E., Guzmán, R., Álvarez, C., Lares, M., Martínez, K., Suniaga, G., Pavani, A., Pérez, E., Guzmán, R., Álvarez, C., Lares, M., Martínez, K., Suniaga, G., & Pavani, A. (2021). Cacao, cultura y patrimonio: un hábitat de aroma fino en Venezuela. *RIVAR (Santiago)*, 8(22), 146–162.
<https://doi.org/10.35588/RIVAR.V8I22.4781>
- Reineccius, G. A., Andersen, D. A., Kavanagh, T. E., & Keeney, P. G. (1972). Identification and quantification of the free sugars in cocoa beans. *J. Agric. Food Chem.*, 20, 199–202.
- Rhim, J. W. (2002). Kinetics of thermal degradation of anthocyanin pigment solutions driven from red flower cabbage. *Food Science and and Biotechnology.*, 11, 361–364.
- Rodríguez, J. (2011). *Estudio de los compuestos volátiles de Theobroma cacao L., durante el proceso tradicional de fermentación, secado y tostado*. Instituto Politécnico Nacional.
- Rohan, T. A. (1963). Processing of raw cocoa for the market. *FAO Technical Bulletin*, 60.
- Romel, G., Elevina, P., Clímaco, Á., Mary, L., & Pablo, R. (2008). Caracterización fisicoquímica y nutricional de almendras del cacao (*Theobroma cacao L.*) frescas y fermentadas provenientes de la región de Río Chico estado Miranda - Venezuela. *V Congreso Internacional de Ingeniería Bioquímica*.
- Sandoval, M., Okuhama, N., Angeles, F., Melchor, V., Condezo, L., & Miller, M. (2001). Antioxidant Activity of the Cruciferous Vegetable Maca (*Lepidium meyenii*). *Food Chemistry.*, 1–23.
- Schwan, R. F., & Wheals, A. E. (2004a). The microbiology of cocoa fermentation and its role in chocolate quality. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 44, 205–221.
- Schwan, R. F., & Wheals, A. E. (2004b). The microbiology of cocoa fermentation and its role in chocolate quality. *Critical Reviews. Food Science and Nutrition*, 44(4).
- Seeram, N. P., Momin, R. A., Nair, M. G., & Bourquin, L. D. (2001). Cyclooxygenase inhibitory and antioxidant cyanidin glycosides in cherries and berries. *Phytomedicine*, 8(5), 362–369.
<https://doi.org/10.1078/0944-7113-00053>
- Shamsuddin, S., & Dimick, P. (1986). *Qualitative and quantitative measurements of cacao bean fermentation, in Proceedings of Cocoa Biotechnology*. (by Dimick, Vol. 78).
- Silva, F. W. M., Sousa, R. S. R., Gonçalves, C. G., & Souza, J. N. S. (2014). *Avaliação dos processos de fermentação e secagem de sementes de cacau (Theobroma cacao L.) sobre os compostos fenolicos, a atividade da enzima peroxidase e a qualidade das amendoas*.
- Stevenson, C., Corven, J., & Villanueva, G. (1993). Manual para analisis de cacao en laboratorio. *IICA-PROCACAO*, 68.
- Suh, N. N., & Molua, E. L. (2022). Cocoa production under climate variability and farm management challenges: Some farmers' perspective. *Journal of Agriculture and Food Research*, 8, 100282.
<https://doi.org/10.1016/J.JAFR.2022.100282>
- Teye, J. K., & Nikoi, E. (2022). Political Settlements and the Management of Cocoa Value Chain in Ghana. *Journal of Asian and African Studies*. <https://doi.org/10.1177/00219096221079326>
- Tomas-Barberán, F. A., Cienfuegos-Jovellanos, E., Marín, A., Muguerza, B., Gil- Izquierdo, A., Cerdá, B., Zafrilla, P., Morillas, J., Mulero, J., & Ibarra, A. (2007). A new process to develop a cocoa powder with higher flavonoid monomer content and enhanced bioavailability in healthy humans. *J. Agr. Food Chem.*, 55, 3926–3935. <https://doi.org/10.1021/jf070121j>

- Voigt, J., Biehl, B., Heinrichs, H., Kamaruddin, S., Gaim Marsoner, G., & Hugi, A. (1994). In-vitro formation of cocoa-specific aroma precursors: aroma-related peptides generated from cocoa seed protein by cooperation of an aspartic endo proteinase and a carboxypeptidase. *Food Chemistry*, *49*, 173–180. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(94\)90155-4](https://doi.org/10.1016/0308-8146(94)90155-4)
- Wollgast, J., & Anklam, E. (2000a). Review on polyphenols in Theobroma cacao: changes in composition during the manufacture of chocolate and methodology for identification and quantification. *Food Res Int.*, *447*, 423–447. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(00\)00068-5](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(00)00068-5)
- Wollgast, J., & Anklam, E. (2000b). Review on polyphenols in Theobroma cacao: Changes in composition during the manufacture of chocolate and methodology for identification and quantification. *Food Res. Int.*, *33*, 423–447.
- Wood, G. A., & Lass, R. A. (1985). *Cocoa* (4th edn. L).

ANEXO

Anexo 1.

Diseño Experimental para la evaluación de las características físico químicas, por efecto de la fermentación y secado del cacao (Theobroma cacao L.) cultivar CCN 51

