

Evaluación del contenido de cadmio y caracterización fisicoquímica de almendras y pasta de cacao (*Theobroma cacao*)

Evaluation of cadmium content and physicochemical characterization of cocoa beans and cocoa paste (*Theobroma cacao*)

Intriago Flor Frank¹, Chávez García Gema², Vásquez Cortez Luis³, Alvarado Vásquez Kerly⁴, Revilla Escobar Karol⁵*, Vera Chang Jaime⁶, Radice Matteo⁷, Maddela Naga Raju⁸

Cómo citar este artículo: Frank F, Chávez García G, Vásquez Cortez L, Alvarado Vásquez K, Revilla Escobar K, Vera Chang J, Radice M, Maddela Naga R. Evaluación del contenido de cadmio y caracterización fisicoquímica de almendras y pasta de cacao (*Theobroma cacao*). Innovaciencia 2023; 11(1): 1-11. DOI: [10.15649/2346075X.3411](https://doi.org/10.15649/2346075X.3411)

Publicado: 01 diciembre 2023

RESUMEN

Introducción: los metales pesados como el cadmio (Cd) son una preocupación mundial; investigaciones recientes han concluido que están relacionados con riesgos para la salud causados por la ingesta de alimentos contaminados. **Objetivo:** la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el contenido de cadmio, características fisicoquímicas en almendras y pasta de cacao. **Materiales y Métodos:** para el cual se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con tres repeticiones, para determinar diferencia significativa entre la media de los tratamientos se empleó la prueba estadística de post hoc Duncan ($p < 0,05$). **Resultados:** para el contenido de cadmio en almendras de cacao se determinó valores entre $0,80 \pm 0,0$ y $1,08 \pm 0,01$ mg kg⁻¹ de Cd+2 (B200088 y B200090 consecutivamente); mientras que, el contenido de Cd+2 en pasta de cacao no cambió significativamente durante su procesamiento, situando valores similares a los obtenidos en la materia prima. Por otro lado, en los parámetros fisicoquímicos de las almendras y pasta de cacao se obtuvo: humedad ($7,03 \pm 0,02$ - $7,45 \pm 0,01$) y ($1,25 \pm 0,01$ - $1,70 \pm 0,04$); ceniza ($3,67 \pm 0,02$ - $4,62 \pm 0,03$) y ($3,13 \pm 0,02$ - $3,68 \pm 0,02$); acidez titulable ($0,97 \pm 0,02$ - $1,29 \pm 0,02$) y ($0,91 \pm 0,01$ - $1,23 \pm 0,02$); contenido de proteína en las almendras ($11,21 \pm 0,02$ - $14,19 \pm 0,02$) y un porcentaje de grasa en pasta de cacao ($46,19 \pm 0,02$ - $54,16 \pm 0,04$). **Conclusión:** se concluye

¹ Facultad de Ciencias Zootécnicas, Universidad Técnica de Manabí, frank.intriago@utm.edu.ec, <https://orcid.org/0000-0002-0377-1930>

² Facultad de Ciencias Zootécnicas, Universidad Técnica de Manabí, cgema1392@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-9945-8624>

³ Facultad de Ciencias Zootécnicas, Universidad Técnica de Manabí; Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí; International Junior Chamber (JCI QUEVEDO-ECUADOR) lvasquez7265@utm.edu.ec, <https://orcid.org/0000-0003-1850-0217>

⁴ Facultad de Ciencias Zootécnicas, Universidad Técnica de Manabí; Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnológica, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí; International Junior Chamber (JCI QUEVEDO-ECUADOR) kvalvarado6940@utm.edu.ec, <https://orcid.org/0000-0003-0494-7085>

⁵ Facultad de Ciencias Aplicadas, Universidad Nacional de Cuyo, revillak97@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8734-1216> (Autor de correspondencia)

⁶ Facultad de Ciencias de la Industria y la Producción, Universidad Técnica del Estado de Quevedo iverac@uteq.edu.ec, <https://orcid.org/0000-0001-6127-2307>

⁷ Facultad de Ciencias de la Vida, Universidad Estatal Amazónica, mradice@uea.edu.ec, <https://orcid.org/0000-0002-4771-8912>

⁸ Instituto de Investigaciones, Universidad Técnica de Manabí, raju.maddela@utm.edu.ec, <https://orcid.org/0000-0002-7893-0844>

que el contenido de cadmio al procesar las almendras de cacao no presentó cambios significativos, es decir, mantuvieron valores similares a los obtenidos en la fase primaria (almendras de cacao). Por otro lado, las características físicoquímicas de las almendras durante el proceso de beneficiado y en la pasta de cacao se encuentran dentro del criterio de calidad requeridos para su comercialización o producción de productos derivados.

Palabras clave: almendras de cacao, beneficiado, cromatografía, cadmio

ABSTRACT

Introduction: heavy metals such as cadmium (Cd) are a worldwide concern; recent research has concluded that they are related to health risks caused by the ingestion of contaminated food. Objective: the objective of this research was to evaluate the cadmium content and physicochemical characteristics in almonds and cocoa paste.

Materials and Methods: a Completely Randomized Design (CRD) with three replications was used to determine the significant difference between the mean of the treatments using the Duncan post hoc statistical test ($p < 0.05$). **Results:** for the cadmium content in cocoa beans, values between 0.80 ± 0.0 and 1.08 ± 0.01 mg kg^{-1} of Cd+2 were determined (B200088 and B200090 consecutively); while the Cd+2 content in cocoa paste did not change significantly during processing, with values similar to those obtained in the raw material. On the other hand, in the physicochemical parameters of the almonds and cocoa paste, the following values were obtained: moisture (7.03 ± 0.02 - 7.45 ± 0.01) and (1.25 ± 0.01 - 1.70 ± 0.04); ash (3.67 ± 0.02 - 4.62 ± 0.03) and (3.13 ± 0.02 - 3.68 ± 0.02); titratable acidity (0.97 ± 0.02 - 1.29 ± 0.02) and (0.91 ± 0.01 - 1.23 ± 0.02); protein content in almonds (11.21 ± 0.02 - 14.19 ± 0.02) and a percentage of fat in cocoa paste (46.19 ± 0.02 - 54.16 ± 0.04).

Conclusion: it was concluded that the cadmium content of the cocoa beans did not show significant changes during processing, i.e., they maintained values similar to those obtained in the primary phase (cocoa beans). On the other hand, the physicochemical characteristics of the almonds during the processing and in the cocoa paste are within the quality criteria required for its commercialization or production of derived products.

Keywords: cocoa beans, processing, chromatography, cadmium, cocoa beans, cadmium

INTRODUCCIÓN

El cacao es el tercer producto agrícola de exportación más importante a nivel mundial (1). Las variedades Nacional y CNN51 son las de mayor producción, los granos de cacao nacional representan entre 5% y 10% del mercado mundial y se comercializan a mayor precio debido a sus características sobresalientes (2). En este contexto, el cacao es uno de los productos de mayor importancia económica, debido a que sus semillas son el recurso para la elaboración de uno de los productos más consumidos a nivel global, el chocolate, así como también, derivados y subproductos (3).

En Ecuador se exportó alrededor de 360714 toneladas de cacao, convirtiéndolo en uno de los principales exportadores a nivel mundial de cacao fino y de aroma (4). La producción de cacao se encuentra principalmente en las provincias de Manabí, Guayas, El Oro y Esmeraldas, además, Ecuador se caracteriza por poseer un cacao de excelente aroma y sabor, sin embargo, la regulación de cadmio en el chocolate amenazado en cierta forma con la sostenibilidad de la producción de cacao en el país y en general con las producciones y exportaciones en el suroeste de América (5).

En los últimos años ha incrementado la preocupación a los productores, exportadores, procesadores debido a que el cadmio (Cd) tiende a bioacumularse en los granos de cacao y, además, de su difusión directa al chocolate y otros derivados de consumo humano (6). Según, la Organización Mundial de la Salud (OMS), es considerado como un contaminante de alta peligrosidad para la salud pública (7); es un elemento no esencial biológicamente, no cumple ningún rol en el crecimiento y desarrollo de plantas, animales y seres humanos (8).

El consumo de productos de cacao con altas “trazas o cantidades mínimas” de cadmio, en niños, puede provocar problemas para el desarrollo apropiado del cerebro y otros desórdenes de la salud, debido a una baja capacidad de excreción (9). Así como también, puede afectar al metabolismo, afectar al hueso y producir daños renales (10). Es por ello, que la Unión Europea (UE), mediante su Reglamento N° 488/2014, que rige desde enero del 2019 establece límites tolerables de cadmio entre 0,1 a 0,8 $\mu\text{g g}^{-1}$ en productos derivados del chocolate (11).

Para granos, sin procesar, la UE no dispone de un límite máximo de concentraciones de cadmio, sin embargo, existe una clasificación incorrecta al aplicar límites tolerables de productos derivados o procesados a las concentraciones en granos de cacao sin procesar (10). Es por ello, que debe consignarse o regularse un límite máximo de Cd en granos secos o masa de cacao sin procesar, utilizando algunos criterios y tomando como base lo ya establecido en el actual reglamento de la UE (12). Por lo antes expuesto, el presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar el contenido de cadmio y la caracterización fisicoquímica de almendras y pasta de cacao.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

Las muestras de cacao nacional se obtuvieron de la Corporación Fortaleza del Valle, ubicada en el km 1½ vía Calceta-Canuto de la ciudad de Calceta perteneciente al cantón Bolívar, provincia de Manabí, Ecuador. La zona de muestreo presenta una precipitación anual promedio de 348 mm. año⁻¹, una temperatura media anual de 26°C, con humedad relativa de 87% y una altitud de 22msnm.

Acondicionamiento de la muestra

De los sacos de cacao para exportación, se recolectó 2,50 kg de cada muestra. Para, luego por medio del método de cuarto, se tomó un 1kg de muestra para analizar el contenido de cadmio y variables fisicoquímicas en el laboratorio de Bromatología de la Universidad Técnica de Manabí. En cambio, para el caso, de la pasta de cacao, se extrajo 300 g de muestra compacta, previamente tostado, descascarillado y molido

Análisis estadístico

Para la presente investigación se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con 5 muestras distintas de cacao y 3 repeticiones. Para determinar diferencia significativa entre las medias de los tratamientos, se empleó una prueba rangos múltiples de Duncan ($p < 0,05$) mediante el software estadístico SPSS 16.

Mediciones experimentales

Determinación del contenido de cadmio

El contenido de cadmio en almendras y pasta de cacao se determinó de acuerdo a lo establecido por AOAC 974.276. Donde, se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica (GBC SavantAA) aplicando muestra filtrada a partir de 0,5 g de muestra seca por 5 ml de solución nítrica perclórica, la misma que se realizó en un digestor para microondas, posteriormente a esto se filtró y se determinó por espectrometría de absorción atómica (AA) de llama el contenido de Cd⁺² (13).

Determinación de humedad

Se obtuvo de acuerdo con lo establecido en la Norma Técnica Ecuatoriana “NTE INEN 173. Cacao en grano. Determinación de humedad”. Donde se colocaron 5 g de muestra en una estufa (Memmert) a 105 °C durante 5 horas, posteriormente se calcula por diferente de la muestra húmeda y muestra seca (14).

Determinación de ceniza

Se colocó 2 g de muestra en crisoles previamente tarados y luego se introdujeron en una mufla (Cole Parmer) a 550°C durante 5 horas, posteriormente a esto a muestra se enfría a temperatura ambiente en un desecador con silicagel. Para el caso de la pasta de cacao hay que seguir el mismo procedimiento, pero se debe tener cuidado de no permitir la combustión espontánea de la sustancia analizar (15).

Determinación de acidez

Se homogenizó 10 g de muestra de almendra o pasta de cacao con agua caliente a 80°C libre de CO₂, luego se tamizó con la ayuda de papel filtro (#40) y se tomó 25 ml para posteriormente agregar 3 gotas de fenolftaleína (1% P/V). Por último, se tituló usando una solución de NaOH 0,1M, hasta que la muestra presente un color marrón rosada, cabe mencionar que, como ácido predominante de la muestra se utilizó el ácido málico (16).

Determinación de proteína en almendras de cacao

Se pesó 1g de muestra de almendra seca y molida y se introdujo en un tubo de destilación, además se agregó 1 pastilla kjeldahl y 20 ml de H₂SO₄ concentrado, a continuación, se procedió a destilar por un período de 45 minutos a 100°C, luego se añadió 25 ml de agua destilada; posteriormente se dispuso el tubo de destilación en el equipo de destilación directa acompañado de un matraz con 20 ml de H₃PO₄ al 4 % más 4-5 gotas de solución indicadora mixta, finalmente el destilado se recolecta una solución verdosa a la cual se la pasa a titular con H₂SO₄ 0,02N hasta que la mezcla obtenga un color rosa ligero (17).

Determinación de grasa en pasta de cacao

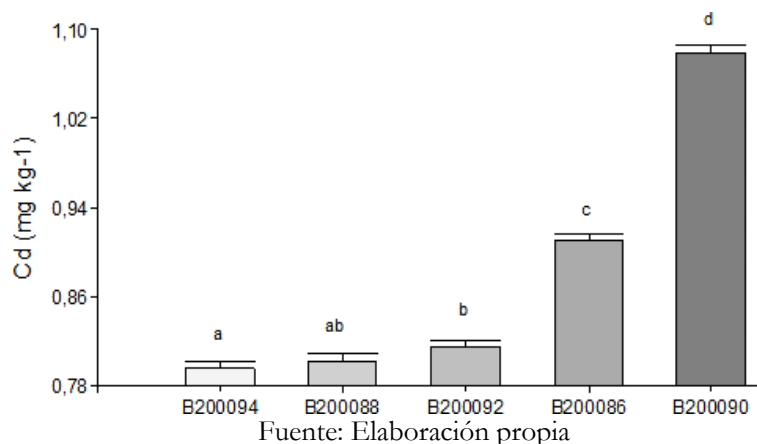
Se determinó de acuerdo con lo establecido en la normativa AOAC Official Method 963.15. Grasa en productos de Cacao, en el cual se obtuvo mediante el uso de un equipo Soxhlet.

RESULTADOS

Contenido de cadmio en almendras de cacao

En la Figura 1 se presentan los resultados del contenido de cadmio en las almendras de cacao fermentadas y secas, determinando que, la muestra B200090 con $1,08 \pm 0,01$ fue estadísticamente diferente ($p < 0,05$) de las muestras B200088 y B200094 con $0,80 \pm 0,01$ y $0,81 \pm 0,02$ mg kg⁻¹ de Cd⁺² respectivamente.

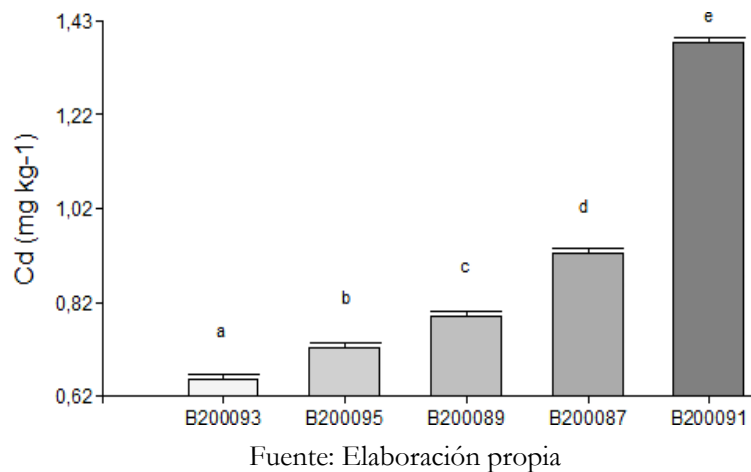
Figura 1. Contenido de cadmio en 5 muestras de almendras de cacao procedentes de la Corporación Fortaleza del Valle.



Contenido de cadmio en pasta de cacao

En la Figura 2 se representa el contenido de cadmio en las muestras de pasta de cacao, en la cual, se observa diferencias significativas ($p > 0,005$) entre la media de los tratamientos, determinando que, B200091 presentó un valor superior con $1,38 \pm 0,03$ en comparación a B200093 ($0,66 \pm 0,02$) que situó el menor contenido de cadmio.

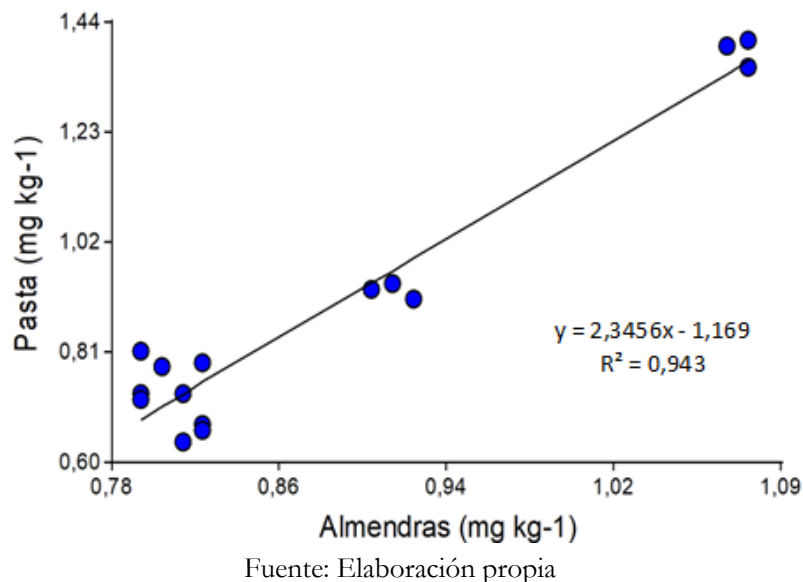
Figura 2. Contenido de cadmio en 5 muestras de pasta de cacao procedentes de la Corporación Fortaleza del Valle.



Relación del contenido de Cadmio entre la almendra y la pasta de cacao

Al analizar el proceso de producción de pasta de cacao a partir de almendras secas se determinó que existe una correlación directamente proporcional entre la concentración de Cd⁺² de la almendra seca y la concentración de Cd⁺² de la pasta de cacao, por lo que se aprecia que durante el proceso de elaboración de pasta de cacao no disminuye el contenido de Cd⁺² con un coeficiente de determinación (R²) de 94% (Figura 3).

Figura 3. Valores promedio del contenido de Cadmio entre la almendra y la pasta de cacao de 5 muestras provenientes de la Corporación Fortaleza del Valle.



Caracterización fisicoquímica de almendras de cacao

En la Tabla 1 se muestran los resultados de las características fisicoquímicas de almendras de cacao fermentado y seco procedente de la Corporación Fortaleza del Valle.

En relación con el contenido de humedad se observó que, la muestra B200090 (7,45 %). difiere significativamente de la muestra B200088 (7,03 %).

Respecto a la variable ceniza, la mayor incidencia se situó en las muestras B200094 y B200090 con 4,62 %, en comparación a B200088 con $3,67 \pm 0,02$ presentó el menor valor.

En la acidez titulable de las almendras de cacao, se determinó diferencia significativa ($p < 0,05$) entre la media de las muestras evaluadas, estableciendo la mayor acidez en B200094 y B200090 con 1,29 y 1,26 respectivamente. Mientras que, B200088 y B200086 obtuvieron una acidez menor con 0,97 y 1,07 consecutivamente.

Por consiguiente, el mayor contenido de proteína se obtuvo en la muestra B200094 con 14,19 % siendo estadísticamente diferente ($p < 0,05$) de la muestra B200088 que ubicó el menor porcentaje de proteína con 11,21 %.

Tabla 1. Resultados de las características fisicoquímicas de almendras de cacao fermentado y seco procedente de la Corporación Fortaleza del Valle.

Código	Parámetros			
	Humedad (%)	Cenizas (%)	Acidez titulable (%)	Proteína (%)
B200088	$7,03 \pm 0,02^A$	$3,67 \pm 0,02^A$	$0,97 \pm 0,02^A$	$11,21 \pm 0,02^A$
B200086	$7,12 \pm 0,02^B$	$4,26 \pm 0,04^B$	$1,07 \pm 0,02^A$	$14,21 \pm 0,07^D$
B200092	$7,17 \pm 0,02^C$	$3,89 \pm 0,02^C$	$0,97 \pm 0,01^B$	$12,55 \pm 0,02^B$
B200094	$7,31 \pm 0,02^D$	$4,62 \pm 0,01^D$	$1,29 \pm 0,02^C$	$14,19 \pm 0,02^D$
B200090	$7,45 \pm 0,01^E$	$4,62 \pm 0,03^D$	$1,26 \pm 0,02^C$	$13,15 \pm 0,03^C$

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) Prueba de Duncan, Nivel de confianza 95 %.

Caracterización fisicoquímica de la pasta de cacao

En la Tabla 2 se presentan los resultados de las características fisicoquímicas de la pasta de cacao de las diferentes muestras procedente de la Corporación Fortaleza del Valle.

Los resultados del porcentaje de humedad de la pasta de cacao demuestran que existe diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$). Donde B200095 (1,70 %) presentó una mayor humedad, mientras que, la muestra B200087 obtuvo un menor porcentaje (1,25 %).

En el contenido de ceniza, se determinó diferencia significativa ($p < 0,05$) en las muestras de pasta de cacao, obteniendo en B200095 (3,68 %) un valor superior, mientras que, B200087 presentó un valor inferior (3,13 %).

Los resultados de acidez titulable de la pasta de cacao presentaron diferencia significativa ($p < 0,05$) entre la media de las muestras, presentando que, B200093 y B200095 situaron mayor acidez con 1,14 y 1,23 respectivamente. A diferencia de B200087 que obtuvo el contenido de acidez más bajo con 0,91.

En el contenido de grasa, la muestra B200091 con 54,16 % fue estadísticamente superior ($p < 0,05$) de las muestras B200087 y B200095 con valores de 46,23 % y 46,19 % consecutivamente.

Tabla 2. Resultados de las características fisicoquímicas de la pasta de cacao de las diferentes muestras procedente de la Corporación Fortaleza del Valle.

Código	Parámetros			
	Humedad (%)	Cenizas (%)	Acidez titulable (%)	Grasa (%)
B200087	1,25±0,01 ^A	3,13±0,02 ^A	0,91±0,01 ^A	46,23±0,02 ^A
B200089	1,33±0,02 ^B	3,23±0,03 ^B	0,95±0,01 ^B	48,93±0,01 ^B
B200093	1,46±0,03 ^C	3,53±0,02 ^C	1,14±0,02 ^C	53,15±0,02 ^C
B200091	1,52±0,02 ^D	3,34±0,02 ^D	0,95±0,02 ^B	54,16±0,04 ^D
B200095	1,70±0,04 ^E	3,68±0,02 ^E	1,23±0,02 ^C	46,19±0,02 ^A

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) Prueba post hoc de Duncan, Nivel de confianza 95 %.

DISCUSIÓN

Contenido de cadmio en almendras de cacao

Los granos de cacao acumulan altos niveles de cadmio, algunas investigaciones realizadas en Ecuador reportaron un contenido de cadmio de 0,25 mg kg⁻¹ (18). Otro estudio, determinó 1,38mg kg⁻¹ de Cd+2 en almendras y productos a partir cacao (19). Por su parte, la Comisión de la Unión Europea, establece como valor máximo permisible 0,3 a 0,8 mg kg⁻¹ (Reglamento de la Comisión UE # 488/2014); por lo que los valores hallados en la presente investigación se encuentran ligeramente por encima de lo estipulado (20).

Contenido de cadmio en pasta de cacao

En la Figura 2 se representa el contenido de cadmio en las muestras de pasta de cacao, en la cual, se observa diferencias significativas ($p > 0,005$) entre la media de los tratamientos, determinando que, B200091 presentó un valor superior con 1,38±0,03 en comparación a B200093 (0,66±0,02) que situó el menor contenido de cadmio.

En el Ecuador no existe una normativa técnica que establezca los requisitos para la pasta de cacao en lo que concierne a concentración de Cd +2. Sin embargo, en barras de chocolate con el 50 % de cacao se ha determinado 0,38 mg kg⁻¹ y con un contenido superior al 50 % de cacao se obtuvo 0,8mg kg⁻¹ (21). Los resultados obtenidos en esta investigación guardan relación a lo antes mencionado, a excepción de la muestra B200091 que situó un valor superior. Además, en licor de cacao se determinó 0,142 ppm y en tabletas de chocolate con 70 % de licor de cacao 0,390 ppm (22).

Caracterización fisicoquímica de las almendras de cacao

Después del proceso de secado las almendras de cacao obtuvieron un contenido de humedad entre 7,03 a 7,45 %, es necesario enfatizar que la humedad debe reducirse a 7 %, debido a que, un contenido mayor dará como resultado el crecimiento de moho durante el almacenamiento (23). Algunas investigaciones, han reportado un contenido de 6,97 a 6,99 % en almendra de cacao fermentado en diferentes métodos de fermentación sacos de yute y fermentación controlada (24).

La composición de los granos fermentados y secos tiene un contenido promedio de cenizas de 2,60% (25). Por otro lado, el contenido de ceniza en la variedad criollo, varió entre 3,74 y 4,74 % para cacao seco y entre 6,48 y 8,21 % para el tostado (26).

En la acidez titulable algunas investigaciones han reportado valores de 0,80 – 1,22 % al estudiar la variabilidad de distintos métodos de fermentación (cajones en cascada, sacos de yute y fermentación controlada) y tipos de cacao nacional (criollo, trinitario y forastero) (27). Para obtener una acidez óptima en la almendra es muy importante un buen manejo de la fermentación, ya que durante este proceso los ácidos acético y láctico producidos en la pulpa son difundidos hacia el cotiledón, aumentando la acidez de la fracción interna de la almendra (24).

El comportamiento del contenido de proteína osciló entre 11,21 - 14,19 %; estos resultados guardan relación con los obtenidos en Perú para granos de cacao de la variedad CCN51 (14,23 %) y ICS 6 (15,53 %) (28). La tendencia del contenido proteico desciende a medida que transcurren los días de fermentación, debido a la difusión e hidrólisis de las proteínas contenidas en el cotiledón, lo cual es ocasionado por el metabolismo de las bacterias acéticas involucradas en la fermentación (23).

Caracterización fisicoquímica en pasta de cacao

Un rango aceptable en el contenido de agua en el licor de cacao, se sitúa ente 0,8 al 1,8 %, aunque la mayoría de las fábricas operan entre 1 y 1,5 % (29). Además, se han determinado valores de 0,30 a 0,81 % en muestras de licor de cacao asociados a distintos modelos de siembra (30).

Con relación al contenido de cenizas, los resultados obtenidos, se encuentran dentro de lo establecido por la Norma Técnica Ecuatoriana “INEN 0623” Pasta (Masa, licor) de cacao. Requisitos, que menciona un valor máximo de 7 % (15). En un estudio sobre la composición química del licor de cacao de la marca Sol de Oro de la COOPAIN presento el mayor contenido de cenizas (4,28 %) (31).

En relación con la acidez titulable al fermentar cacao Nacional en cajones de madera Guayacán Blanco y Laurel, obtuvieron una acidez en pasta de cacao entre 1,17 a 1,34 respectivamente (32).

El contenido grasa usualmente varía del 50 al 55 % en licor de cacao, estando constituida principalmente por glicéridos como el ácido oleico, palmítico y esteárico (33). La variabilidad del porcentaje de grasa puede atribuirse a factores genéticos y aspectos agrometeorológicos del área de cultivo (34).

CONCLUSIONES

Los niveles de Cd⁺² de las muestras de cacao obtenidas de la corporación La Fortaleza del Valle, reporta un promedio de 0,88mg kg⁻¹, por lo que este valor se encuentra ligeramente por encima del nivel estipulado por la Comisión de la Unión Europea, el cual es de 0,1 a 0,5 mg kg⁻¹. Cabe mencionar que, el Cd tiende a bioacumularse en las almendras de cacao, afectando la salud humana y sus posibilidades de comercialización. Por otro lado, el contenido de cadmio al procesar las almendras de cacao no presentó cambios significativos, es decir, mantuvieron el contenido obtenido en la fase primaria (almendras de cacao). En cuanto a las características fisicoquímicas de las almendras de cacao durante el proceso de beneficiado las muestras presentaron una mayor humedad en comparación a la pasta de cacao, así como también, las muestras de pasta de cacao demostraron un incremento en el contenido de cenizas y acidez titulable. Además, se concluye que las muestras tanto en la fase primaria como en la transformación a producto semielaborado (pasta de cacao) se encuentran dentro del criterio de calidad requeridos para su comercialización.

REFERENCIAS

1. Avadí A. Environmental assessment of the Ecuadorian cocoa value chain with statistics-based LCA. *The International Journal of Life Cycle Assessment*.2023:<https://doi.org/10.1007/s11367-023-02142-4>.
2. Viteri-Salazar O, Latorre S, Zambrano-Godoy M, Quelal-Vásquez MA. The challenges of a sustainable cocoa value chain: A study of traditional and “fine or flavour” cocoa produced by the kichwas in the ecuadorian Amazon region. *Journal of Rural Studies*. 2023; 98: p. 92-100: <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2023.01.015>
3. Moore R, Ullah I, De Oliveira V, Hammond S, Strekopytov S, Tibbett M, et al. Cadmium isotope fractionation reveals genetic variation in Cd uptake and translocation by *Theobroma cacao* and role of natural resistance-associated macrophage protein 5 and heavy metal ATPase-family transporters. *Horticulture Research* volume. 2020; 7(1): p. 71: <https://www.nature.com/articles/s41438-020-0292-6>
4. García A, Pico B, Jaimez R. La cadena de producción del Cacao en Ecuador: Resiliencia en los diferentes actores de la producción. *NovasinerGIA*. 2021; 4(2): p. 152–172. <https://doi.org/10.37135/ns.01.08.10>
5. Ramos-Martín J. Evaluación de la Sostenibilidad de los cultivos café y cacao en las provincias Orellana y Sucumbíos-Ecuador [Tesis doctoral]; Universitat Autònoma de Barcelona; 2014: <https://www.tdx.cat/handle/10803/131452>
6. Nieves Y, Parra N, Villanueva S, Henríquez M. Biorremediación, enemigo del cadmio. *INGENIERÍA UC*. 2019; 26(1): p. 96-104: <https://www.redalyc.org/journal/707/70758484010/html/>
7. Organización Mundial de la Salud [OMS]. Preventing disease through healthy environments - Exposure to cadmium: a major public health concern. World Health Organization; 2020: <https://iris.who.int/handle/10665/329480>
8. Engbersen NGA, Lopez M, Schwarz G, Hattendorf B, Gutierrez O, Schulin R. Cadmium accumulation and allocation in different cacao cultivars. *Science of The Total Environment*. 2019; 679: p. 660-670: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.001>
9. Maddela RND, García LC, Chakraborty S, Venkateswarlu K, Megharaj M. Cocoa-laden cadmium threatens human health and cacao economy: A critical view. *Science of The Total Environment*. 2020, 720: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137645>
10. Florida-Rofner N. Revisión sobre límites máximos de cadmio en cacao (*Theobroma cacao* L.). *La Granja*. 2021; 34(2): <https://doi.org/10.17163/lgr.n34.2021.08>
11. Unión Europea [UE]. Commission Regulation No. 488/2014. They modify EC Regulation No 1881/2006 regarding the maximum content of cadmium in food products. 2014: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:364:0005:0024:EN:PDF>
12. Meter A, Atkinson R, Laliberte B. Cadmio en el cacao de América Latina y el Caribe. Análisis de la investigación y soluciones potenciales para la mitigación.: Bioversity International. 2019: <https://hdl.handle.net/10568/102354>
13. AOAC International. Official Method 974.276–Natural mineral waters. En: AOAC International, Official Methods of Analysis. Gaithersburg: AOAC International; 1998.https://www.fundacionfedna.org/tecnicas_de_analisis/plomo-cadmio-m%C3%A9todo-de-absorci%C3%B3n-at%C3%B3mica
14. Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN]. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 0173. Cacao en grano. Determinación de la humedad. Servicio Ecuatoriano de Normalización, Quito, Ecuador; 2010. <https://studylib.es/doc/8690447/n-te-inen-0173--cacao-en-grano.-determinaci%C3%B3n-de-la>
15. AOAC International. Official Method 972.15: 2012– Cocoa incineration process. En: AOAC International, Official Methods of Analysis. Gaithersburg: AOAC International, 2012. <https://es.scribd.com/document/330010215/AOAC-Official-Method-972-docx>
16. Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN]. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 750. Productos vegetales y de frutas – determinación de la acidez titulable (IDT) Primera

- Edición. Servicio Ecuatoriano de Normalización, Quito, Ecuador; 2013. https://www.academia.edu/36881948/norma_t%C3%89cnica_ecuatoriana_nte_inen_iso_750_2013_producto_vegetales_y_de_frutas_determinaci%C3%93n_de_la_acidez_tituable_idt_primera_edici%C3%B3n
17. Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN]. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 0176. Cacao en grano. Requisitos. Servicio Ecuatoriano de Normalización, Quito, Ecuador; 2006. https://archive.org/stream/ec.nte.0176.2006/ec.nte.0176.2006_djvu.txt
 18. Barraza F, Schreck E, Uzu G, Lévêque T, Zouiten C, Boidot M, et al. Beyond cadmium accumulation: Distribution of other trace elements in soils and cacao beans in Ecuador. *Environmental Research*. 2021; 192(110241): <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110241>
 19. Romero-Estévez D, Yáñez-Jácome GS, Simbaña-Farinango K, Navarrete H. Content and the relationship between cadmium, nickel, and lead concentrations in Ecuadorian cocoa beans from nine provinces. *Food Control*. 2019; 106(106750): <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106750>
 20. Unión Europea [UE]. Commission Regulation No. 488/2014. They modify EC Regulation No 1881/2006 regarding the maximum content of cadmium in food products. 2014: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:364:0005:0024:EN:PDF>
 21. Londoño-Franco L, LMP, Muñoz-García F. Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Rev.Bio.Agro*. 2016; 14(2): p.145-153: [http://dx.doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](http://dx.doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153)
 22. Santander-Ruiz W, Garay-Montes R, Verde-Girbau C, Mendieta-Taboada O. Determinación del contenido de cadmio en suelos, frutos, granos fermentados y secos, licor de cacao y chocolate en zonas productoras de la Región San Martín. *Rev. Soc. Quím. Perú*. 2021; 87(1): p.39-49.: <http://dx.doi.org/10.37761/rsqp.v87i1.321>.
 23. Ackah E, Dompey E. Effects of fermentation and drying durations on the quality of cocoa (*Theobroma cacao* L.) beans during the rainy season in the Juaboso District of the Western-North Region, Ghana. *Bulletin of the National Research Centre*. 2021; 45(175): <https://bnrc.springeropen.com/articles/10.1186/s42269-021-00634-7>
 24. Aldas-Morejon JP, Revilla-Escobar KY. Estudio del proceso fermentativo del cacao nacional (*Theobroma cacao*) considerando distintos tipos y su incidencia en las características físico-químicas y sensoriales [Tesis de pregrado]: Universidad Técnica Estatal de Quevedo; 2020: <http://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/5184>
 25. Sánchez ÁS, Naranjo-González JA, Córdova-Avalos V, Ávalos -De la Cruz DA, Zaldívar-Cruz JM. Caracterización bromatológica de los productos derivados de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Chontalpa, Tabasco, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 2016; 7(14): p.2817-2830: <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263144474014.pdf>
 26. Djali M, Santasa K, Indiarito R, Subroto E, Fetriyuna F, Lembong E. Proximate Composition and Bioactive Compounds of Cocoa Bean Shells as a By-Product from Cocoa Industries in Indonesia. *Foods*. 2023; 12(17): p. 3316: <https://doi.org/10.3390/foods12173316>
 27. Aldas J, Niera J, Revilla K, Sánchez S. Métodos de fermentación del cacao nacional (*Theobroma cacao*) y su influencia en las características físico-químicas, contenido de cadmio y perfiles sensoriales. *Alternativas*; 21(3): p. 41-48: <http://dx.doi.org/10.23878/alternativas.v21i3.339>
 28. Andrade-Almeida J, Rivera-García J, Chire-Fajardo G, Ureña-Peralta M. Propiedades físicas y químicas de cultivares de cacao (*Theobroma cacao* L.) de Ecuador y Perú. *ENFOQUE*. 2019; 10(4): p. 1-12: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-65422019000400001
 29. Dand R. Cocoa bean processing and the manufacture of chocolate. *The International Cocoa Trade (Third edition)*. 2011; p. 268-289: <https://doi.org/10.1016/B978-0-85709-125-3.50009-4>

30. Moreno-Martínez E, Gavanzo-Cárdenas ÓM, Rangel-Silva FA. Evaluación de las características físicas y sensoriales de licor de cacao asociadas a modelos de siembra. *Ciencia y Agricultura*. 2019; 16(3): p. 75-90. Disponible en: <https://doi.org/10.19053/01228420.v16.n3.2019.9890>
31. Del Águila- Meléndez EA. Determinación de cadmio y plomo en granos de cacao, frescos, secos y en licor de cacao (*Theobroma cacao*) San Martín [Tesis de pregrado]: Universidad Nacional Agraria de la Selva; 2017: <https://hdl.handle.net/20.500.14292/1269>
32. Erazo-Solórzano C, Bravo-Franco K, Tuárez-García D, Fernández-Escobar A, Torres-Navarrete Y, Vera-Chang J. Efecto de la fermentación de cacao (*Theobroma cacao* L.), variedad nacional y trinitario, en cajas de maderas no convencionales sobre la calidad física y sensorial del licor de cacao. *Revista de Investigación Talentos*. 2021; 8(2): p. 42-55: <https://doi.org/10.33789/talentos.8.2.153>
33. Mustiga GM, Morrissey J, Conrad-Stack J, DuVal A, Royaert S, Jansen J, et al. Identification of Climate and Genetic Factors That Control Fat Content and Fatty Acid Composition of *Theobroma cacao* L. Beans. *Front Plant Sci*. 2019; 10: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01159>
34. Quispe-Sánchez L, Caetano AC, Baca D, Oliva-Cruz M, Díaz-Valderrama JR, Chávez SG. Fatty acid profile and rheological properties of cocoa paste from north-eastern Peru. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2023; 123: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105580>