

Evaluación de cadmio y plomo en almendras de cacao por espectroscopia de absorción atómica

Marlon, Batallas-Valarezo^{1*}; Marcia, Preciado-Alvarado²; Fredis, Pesantez-Franco³.

Resumen

El objetivo de la investigación es evaluar la concentración de cadmio y plomo en testa y cotiledón de almendras de cacao, para determinar en qué parte de la almendra existe mayor acumulación de estos metales, el método aplicado para la cuantificación de cadmio y plomo fue la espectroscopia de absorción atómica en horno de grafito, también se determinó parámetros físicos-químicos como humedad, pH y acidez; las muestras de cacao fueron recolectadas en 5 fincas productoras ubicadas en el sector La Adelina, cantón Balao. En los resultados obtenidos se determinó un porcentaje de humedad menor al 2% con respecto a las muestras de las 5 fincas; el pH es inversamente proporcional con la acidez, en la finca 1 la testa fue la que presentó un pH mayor de 3,34 con un porcentaje de acidez bajo de 2,4%. En lo que corresponde a la evaluación de metales pesados, se determinaron una ligera concentración de cadmio y plomo en la testa del cacao, los cuales se encuentran dentro de los límites permisibles por el Códex Alimentarius. Sin embargo se debe tener un control ya que a futuro dichos resultados podrían verse influenciados por la acumulación de estos metales.

Palabras claves: cadmio, plomo, cacao, testa, cotiledón, espectroscopia.

Evaluation of cadmium and lead in cocoa beans by atomic absorption spectroscopy

Abstract

The objective of the research is to evaluate the concentration of cadmium and lead in the testa and cotyledon of cocoa beans, in order to determine in which part of the kernel there is a greater accumulation of these metals, The method applied for the quantification of cadmium and lead was atomic absorption spectroscopy in a graphite furnace, physical-chemical parameters such as humidity, pH and acidity were also determined; The cocoa samples were collected from 5 cocoa farms located in the La Adelina sector, canton Balao. In the results obtained, a moisture content of less than 2% was determined with respect to the samples from the 5 farms; pH is inversely proportional to acidity. In farm 1 the testa had a pH of 3.34 with a low acidity percentage of 2.4%. With regard to the evaluation of heavy metals, a slight concentration of cadmium and lead was determined in the cocoa testa, which are within the limits allowed by the Codex Alimentarius. However, control must be exercised, since in the future these results could be influenced by the accumulation of these metals.

Keywords: cadmium, lead, cocoa, testa, cotyledon, spectroscopy

Recibido: 12 de mayo de 2021

Aceptado: 15 de agosto de 2021

¹ Egresado de la Universidad Técnica de Machala

² Egresada de la Universidad Técnica de Machala

³ Dr. Químico Industrial. Magíster en Enseñanza de la Física Docente Investigador de la Universidad Técnica de Machala

*Autor para correspondencia: batallas3@utmachala.edu.ec

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, metales pesados como el cadmio y el plomo presentes en el cacao y derivados, ha generado inquietud tanto en países productores como en países importadores. La presencia de estos contaminantes puede ser por origen natural o antropogénico, generando un gran impacto ambiental y a su vez representando un riesgo para la salud (Londoño Franco et al, 2016).

Actualmente en el país, los suelos han aumentado el contenido de metales pesados, interviniendo así en los procesos fisiológicos de la planta de cacao, siendo acumulados y absorbidos en las hojas y concentrados en las semillas. De acuerdo con estudios realizados, El Oro, Guayas y Manabí son unas de las provincias que presentan mayor concentración de metales pesados en almendras de cacao (Vasallo, 2015).

En la Adelina, cantón Balao provincia del Guayas, existen fincas productoras de cacao ubicadas en entornos cercanos a efluentes provenientes de cerros; interviniendo a su vez explotaciones de metales preciosos realizados por el desarrollo de minerías a pequeña escala, considerados estos tipos de procesos como agentes contaminantes (Oviedo et al, 2017), los cuales se almacenan durante las cosechas de cacao, generando así una acumulación de metales pesados.

En este contexto, se evaluaron concentraciones de cadmio y plomo en el cotiledón y en la testa de la almendra de cacao, seleccionando aleatoriamente a 5 fincas productoras. Las muestras fueron analizadas por laboratorios certificados aplicando la técnica de la espectroscopia de absorción atómica, determinando parámetros físicos-químicos de humedad, pH y acidez, realizando un análisis estadístico en el software IBM SPSS Statistics 25.0 para calcular la media y mediana de los valores obtenidos e identificar en qué parte del fruto se acumula mayor concentración de metales pesados, y si estos cumplen con los límites establecidos por la Comisión del Códex Alimentarius.

II. METODOLOGÍA

La población de estudio fueron las 5 fincas productoras ubicadas en el sector La Adelina, cantón Balao provincia del Guayas, de las cuales se tomaron como muestras las almendras de

cacao cosechadas. De acuerdo a la ubicación de la investigación, los ensayos experimentales de los análisis para cada muestra fueron triplicados y se realizaron en dos instituciones. Para los análisis físicos-químicos, fueron realizados en los laboratorios de la Universidad Técnica de Machala. Mientras que los análisis de cadmio y plomo, fueron proporcionados y realizados en el laboratorio AVVE S.A. que cuenta con certificación, ubicado en la ciudad de Guayaquil.

Se realizó un análisis estadístico de los resultados obtenidos empleando el software IBM SPSS Statistics 25.0 para determinar la media y la mediana mediante la representación gráfica de diagramas de caja y bigotes.

Recolección de la muestra

Se tomó como referencia la Comisión Europea. Reglamento (CE) No. 333 (2007), que es para métodos de muestreo y análisis para metales pesados, donde señala que el muestreo exige un gran cuidado debido a que la muestra recolectada servirá para los análisis correspondientes y debe ser representativos. Para ello, se establecieron los puntos críticos en las 5 fincas productoras, la primera finca se encontraba a una mayor distancia y cerca de la zona minera, a diferencia de las otras 4 fincas, que estaban cercana a la carretera de la zona, pero todas correspondientes al mismo sector.

La muestra global de almendras de cacao fue de 2,5 kg, siendo extraídas directamente de la mazorca, con ayuda de una balanza de mano marca Tolsen 3507 para determinar el peso exacto. Todas las muestras fueron colocadas y rotuladas en un recipiente limpio e inerte para que no se produzca una contaminación ni la pérdida del analito por absorción de las paredes internas del mismo.

Preparación de la muestra

Se secaron las semillas a temperatura ambiente exponiéndolas a los rayos del sol durante 3 semanas y 9 horas. Previo al proceso de trituración se procedió con la separación del cotiledón de la cáscara (testa) de la almendra de cacao, para ello se lo realizó de forma manual, mientras que para la trituración se empleó una licuadora marca Oster, obteniendo una muestra homogénea. Posterior a ello se tamizaron ambas muestras en un tamiz

de acero inoxidable de laboratorio marca Wstyler #20, hasta alcanzar una medición de partículas de 250 µm y finalmente proceder a envasarlas.

Parámetros físicos-químicos de las muestras recolectadas

Análisis de humedad

Se pesó aproximadamente 1 g de cada muestra de almendra de cacao entera seca, siendo este el peso requerido, el cual se lo hizo en el determinador de humedad marca Ohaus MB90; colocando la muestra madre en el platillo del equipo y empleando un tiempo alrededor de 5 minutos por muestras, obteniendo así el porcentaje de la humedad respectivamente.

Determinación de pH

Se calibró el medidor del equipo de pH marca pH-Metro Seven Easy – Metter Toledo, después de ello se mezcló por separado una muestra de 10 g de cotiledón y otra de testa de cacao triturados respectivamente con 100 ml de agua destilada hervida, la misma que fue sometida a calefacción con ayuda de una cocineta marca Goldsun ES-2615-Closeelectricstove hasta alcanzar una temperatura de 80°C, la cual se la agitó durante 20 minutos, luego proceder a filtrar y dejar que se enfríe, para así finalmente introducir el electrodo del pH-metro obteniendo las lecturas de medición de pH tanto de testa como de cotiledón.

Determinación de acidez titulable

Para la determinación del porcentaje de acidez, se optó como referencia la normativa NTE INEN 38 (2003), para grasas y aceites comestibles; la cual establece que la acidez en este tipo de muestras se determina por volumetría. Para ello, se realizó este proceso tanto en testa como en cotiledón previamente triturados, donde se pesó 5 g de cada muestra empleando una balanza analítica marca Boeco BBL31, la cual se la mezcló con 100 ml de agua destilada, posteriormente hervida en la cocineta, agitándose durante 10 minutos, después se dejó enfriar y se filtró con ayuda de un papel filtro, y se agregó el indicador fenolftaleína de 2 a 3 gotas.

Por otro lado, se procedió a preparar el equipo de titulación, enrasando la bureta con NaOH a

0.1 N, dejando así caer las gotas en la solución principal, agitándose constantemente hasta que cambie la coloración en relación al medio ácido-base y así finalmente anotar el volumen consumido por el viraje.

Para determinar el porcentaje de acidez titulable en ambas muestras se empleó el siguiente cálculo de la Ec. 1:

$$\%A = \frac{Vc * N}{M} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

%A= porcentaje de acidez titulable (%)

Vc= Volumen consumido de NaOH (ml)

N= Normalidad de las soluciones de NaOH

M= Peso de la muestra

Digestión de la muestra por vía húmeda

Previo al análisis en el equipo de espectroscopia, se pesó alrededor de 0,5 g de cada muestra tanto testa como cotiledón en un Becker de 100 ml, y se agregó una mezcla de HNO₃ (8 ml) con HClO₄ (2 ml); posteriormente se la cubrió con una luna de reloj para después llevarla a mineralización por nítrico-perclórico por una hora, colocándose dicha mezcla en una placa con base calentadora a una temperatura de 180°C por 90 minutos hasta lograr una digestión total, el gas de color blanco es el indicativo de que la digestión se ha completado y se forma un líquido incoloro. Luego se filtró el extracto en un balón de 50 ml y se aforó con agua desionizada.

Cuantificación de cadmio y plomo por espectroscopia de absorción atómica en horno de grafito

Este método se llevó a cabo en el equipo espectrómetro de absorción atómica de horno de grafito marca MGA-1000, la información fue facilitado de acuerdo al proceso realizado en el laboratorio AVVE S.A.

Para proceder con el análisis de la muestra, se debe primero alinear el tubo de grafito con la luz emitida por la lámpara espectral, la cual se encuentra dentro del equipo. Esto se hace ya que una vez el horno sea encendido, y así el vapor atómico generado por la muestra permite absorber la luz que proviene de la lámpara del elemento a

determinar (Salome et al, 2020). Por otra parte, con ayuda del software se debe programar el equipo con relación a la longitud de onda a la cual la luz será absorbida por el elemento de interés, para este caso sería tanto en cadmio y plomo.

Una vez que se haya realizado la digestión de las muestras, se aplica la siguiente metodología; se toma un volumen alrededor de 10 µL empleando la micropipeta y se lo inyecta en la parte superior de la entrada del tubo de grafito, donde las temperaturas cumplen un papel importante, en esta etapa se logra calentar al punto de ebullición del solvente que va entre los 80°C a 180°C, lo que se desea en esta etapa es evaporar el solvente y los componentes volátiles presentes. El siguiente paso es el proceso de calcinado, el cual se lo trabaja con un incremento de temperatura que va de 350°C a 1600°C, esto se lo hace para eliminar gran cantidad de material orgánico que se encuentra en la muestra. En la última etapa se da la atomización, donde

el horno se caliente a temperaturas elevadas que van desde los 1800°C a los 2800°C, permitiendo evaporar los residuos que se dieron en el calcinado y se logra llevar los átomos al estado fundamental, midiendo la absorbancia visualizada en el equipo.

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Parámetros físicos-químicos de las muestras recolectadas

Análisis de humedad

La media obtenida de los porcentajes de humedad de las muestras de almendras de cacao enteras de las 5 fincas se observa en la Tabla 1, los valores obtenidos se encuentran dentro del rango requerido por la normativa NTE INEN 176 (2012), estableciendo que el porcentaje máximo de humedad en almendras de cacao debe ser menor de un 7%. Este tipo de condiciones, proyecta que el fruto ha cumplido con la mayor eliminación de cantidad de humedad durante el proceso de secado.

Tabla 1. Porcentaje de humedad de las muestras de granos de cacao (%)

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
Análisis 1	1,10	1,23	1,05	2,22	0,70
Análisis 2	0,99	1,14	1,00	1,53	1,00
Análisis 3	1,05	1,14	1,09	1,76	0,95
	1,05	1,17	1,05	1,84	0,88

Los resultados obtenidos concuerdan con la investigación por (Intriago et al, 2019) quienes realizaron un estudio de variables con un test de coeficientes estandarizados al 95% de intervalo de confianza, obteniendo valores de porcentajes de humedad entre un rango de 2 y 4% acorde a criterios de atributo de las almendras de cacao, simulando el mismo proceso de secado a temperatura ambiente y con un tiempo aproximado de 3 semanas, quien además declara en su investigación que la humedad es un factor importante ya que en base a ello se evalúa la calidad del cacao.

Determinación de pH

Los resultados obtenidos en relación a las medias de pH en la testa y cotiledón de cacao de las diferentes fincas se detallan en la Tabla 2 y 3 respectivamente, existiendo una diferencia de medias en la muestra 1 en comparación con las demás muestras para ambos análisis. Los valores de pH, tanto en testa y en cotiledón, indican que la almendra de cacao es ligeramente ácida y esto se ve influenciado por el proceso de fermentación y secado que comúnmente atraviesa este tipo de frutos.

Tabla 2. pH en las muestras de la testa de cacao

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
Análisis 1	4,33	5,00	5,26	4,90	5,00
Análisis 2	4,28	5,18	5,22	4,95	5,00
Análisis 3	4,40	5,21	5,24	5,00	5,00
	4,34	5,13	5,24	4,95	5,00

Tabla 3. pH en las muestras de cotiledón de cacao

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
Análisis 1	4,61	5,04	5,15	5,04	5,00
Análisis 2	4,60	5,00	5,19	5,00	5,18
Análisis 3	4,59	5,04	5,21	5,03	5,21
	4,60	5,03	5,18	5,02	5,13

La investigación por (Amorim et al, 2017) quienes realizaron un estudio de variables físicas y químicas antes y después de la fermentación sometida a los granos de cacao, reportó valores de pH que oscilan entre 5,0 y 5,4 mencionando que en una buena fermentación el pH óptimo asciende de 3,0 a 5,0. Por otro lado, (Andrade Almeida, et al, 2019) aportan que, en su investigación, los granos de cacao de especies de Perú y Ecuador presentan un rango de pH de 4,23 a 5,36, valores que se asimilan con los datos obtenidos en este análisis. De acuerdo a ello, señalan que el cacao mientras más ácido se encuentre, presentará un mayor indicio de contaminación, por lo recomiendan realizar estudios posteriores al mismo.

Determinación de acidez titulable

La media de los volúmenes consumidos para la determinación del porcentaje de acidez,

empleando la Ecu. 1 tanto para testa y cotiledón, se presentan en la Tabla 4 y 5, respectivamente. Este parámetro está en relación al pH, siendo inversamente proporcional, por lo que, si el pH aumenta el porcentaje de acidez disminuirá, tal como se ilustra en la tabla de valores de pH y acidez. De acuerdo a la acidez en la testa del cacao, se puede observar que en los resultados obtenidos existe una diferencia de medias en la muestra 4 y 5 en comparación de las demás muestras, las cuales presentan una acidez mayor; el mismo comportamiento sucede en el caso de la acidez del cotiledón, que muestra una diferencia en relación a la muestra 1 con las otras muestras. Estos resultados pueden ser influenciados por el uso de agroquímicos en el cuidado que se le brinda en las plantaciones de esa zona y a su vez se conoce que la testa es la que recubre al cotiledón y por ende es más ácida.

Tabla 4. Porcentaje de acidez en las muestras de testa de cacao (%)

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
Análisis 1	2,6	1,5	1,3	2,0	1,5
Análisis 2	2,6	1,5	1,1	2,1	1,5
Análisis 3	2,1	1,3	0,9	2,0	1,7
	2,4	1,4	1,1	2,0	1,6

Tabla 5. Porcentaje de acidez en las muestras de cotiledón de cacao (%)

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
Análisis 1	1,9	1,7	1,5	1,7	1,7
Análisis 2	2,1	1,9	1,3	1,9	1,5
Análisis 3	2,3	1,5	1,3	1,7	1,5
	2,1	1,7	1,4	1,8	1,6

Los resultados son respaldados por Zambrano (2018), el cual tuvo como propósito evaluar la influencia del proceso de beneficio del cacao; en donde sus resultados mostraron variaciones con respecto a un pH < 5 y con una acidez > a 2,0 en las muestras de testa de cacao, considerando a la mayoría como ácidas, acumulando así

contaminantes en donde estas variaciones se deben a los diferentes procesos que se brinda durante el secado y la fermentación. (Barbosa et al, 2020) evaluaron las propiedades físicas y químicas de los granos de cacao procedentes de Perú, donde resaltan la relación en valores de acidez y pH, obteniendo porcentajes de acidez entre un rango de

1,6 y 1,8%, el cual disminuye al momento que el pH ascendía, esto ocurría en el proceso de conchado del grano de cacao, por lo que sugieren un manejo adecuado para que el pH no sea menor de 5 y así prevenir la acumulación de contaminantes y la presencia de hongos que desmejoran la calidad del grano de cacao.

Cuantificación de cadmio y plomo por espectroscopia de absorción atómica en horno de grafito
Cuantificación de cadmio en testa y cotiledón del cacao

Los resultados proporcionados a través del método de absorción atómica con respecto al análisis de cadmio en la testa y cotiledón de las 5 muestras de cacao, se presentan en la Figura 1. En base al diagrama de caja y bigotes, se puede interpretar que en las fincas 2, 3, 4 y 5 las medianas resultantes oscilan entre valores de 0,4178 a 0,5900 mg/kg. Sin embargo, la mediana obtenida en la finca 1 es la más alta en comparación con las demás con un valor de 0,7793 mg/kg, lo que demuestra una concentración levemente elevada de cadmio en dicho punto.

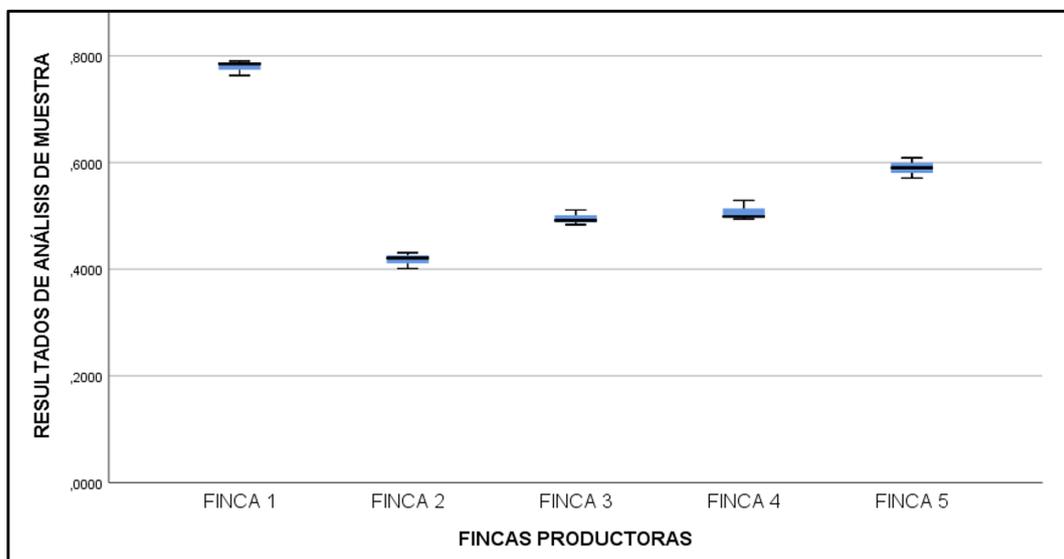


Figura 1. Diagrama de caja y bigote del contenido de Cd en la testa del cacao

En la Figura 2 del diagrama de caja y bigotes se muestran los resultados proporcionados en relación al contenido de cadmio en el cotiledón del cacao; en lo que corresponde a las medianas de las fincas 2, 3, 4 y 5 se determinaron valores que oscilan entre 0,3960 a 0,5427 mg/kg, a diferencia de la finca 1 que se obtuvo una mediana de 0,6933 mg/kg, presentando un valor de concentración

ligeramente alto. La variación que presenta la finca 1 de las otras fincas, en relación al contenido de cadmio tanto en testa como en cotiledón, puede darse como consecuencia ya que esta se encuentra más cerca de la zona minera y por la tanto se ve influenciada por la acumulación de dichos metales en la planta de cacao, teniendo en cuenta que en la testa del fruto existe mayor concentración de cadmio.

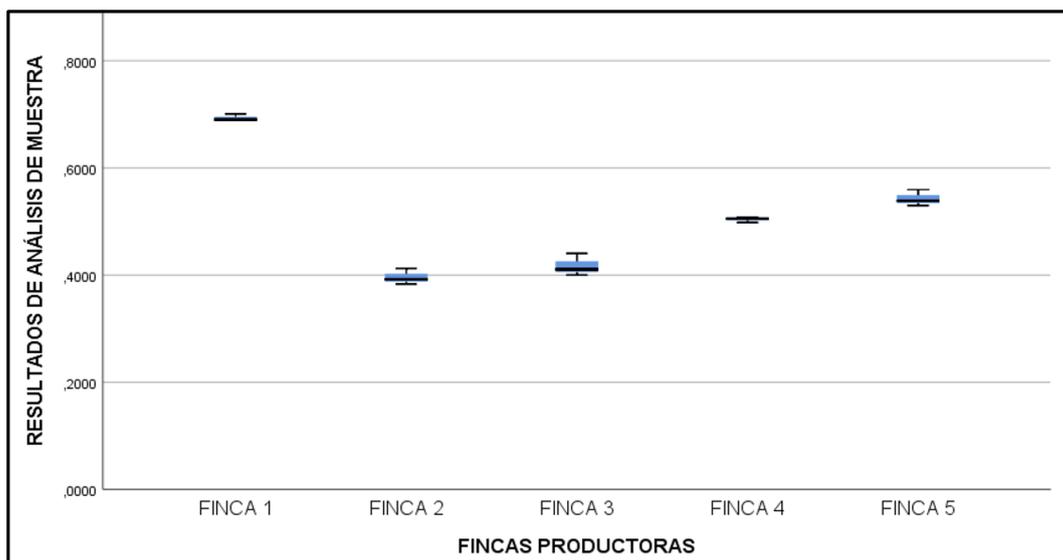


Figura 2. Diagrama de caja y bigote del contenido de Cd en el cotiledón del cacao

Investigaciones desarrolladas por (Mite et al, 2010) donde realizaron un monitoreo de presencia de metales pesados en las almendras de cacao y suelo en la provincia de Santa Elena, reportan que obtuvieron un promedio mayor de cadmio en la testa de cacao, con un valor de 2,61 mg/kg. No obstante, en la investigación de (Díaz et al, 2018) evidencian que existe mayor concentración de metales pesados en el cotiledón del fruto provenientes de fincas de productores orgánicos del cantón Vinces, encontrándose así un promedio 2,45 mg/kg de Cd, señalando que el incremento de la concentración este metal se debía al proceso de secado, por lo que el grano de cacao pierde un 90% de agua y minerales. (Llatance et al, 2018) determinaron que la planta *Theobroma cacao L.* presenta una mayor acumulación de cadmio a diferencia de otras especies que siguen

una secuencia ascendente (raíz, tallo, hoja, fruto) donde reportó que la concentración de cadmio en el cotiledón fue de 0,411 mg/kg y concluye que la acumulación de este elemento se debe a que es una planta de tipo perenne.

Cuantificación de plomo en testa y cotiledón del cacao

En la figura 3 se evidencia los resultados obtenidos del análisis de plomo en testa de las 5 fincas productoras; el diagrama de caja y bigotes indica que las medianas de las fincas 2, 4 y 5 alcanzaron valores entre un rango de 0,0901 a 0,0911 mg/kg. Sin embargo, cabe mencionar que la finca 1 y 3, fueron las que presentaron un mayor incremento de plomo en comparación de las demás, con una mediana de 0,0938 y 0,0920 mg/kg respectivamente.

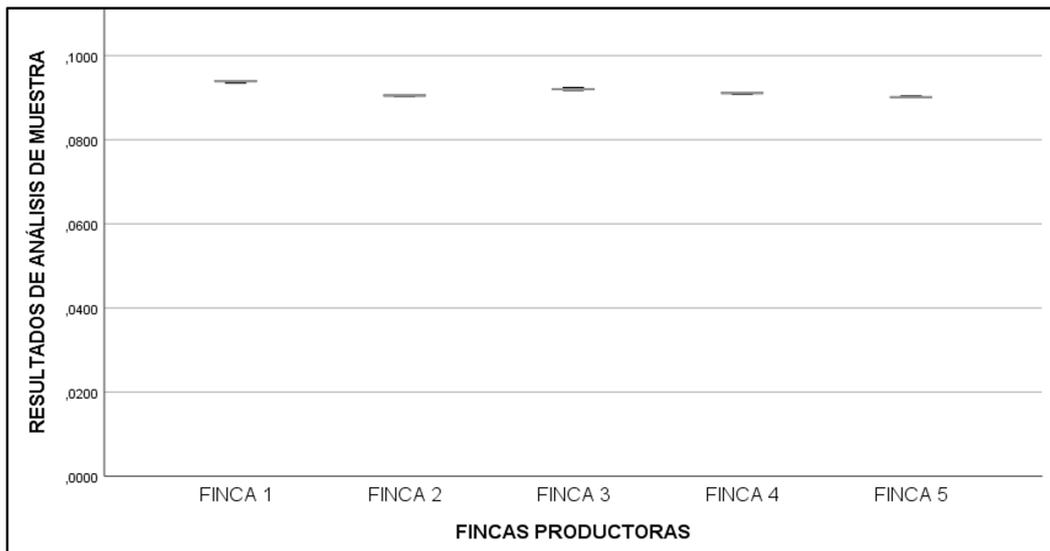


Figura 3. Diagrama de caja y bigote del contenido de Pb en la testa del cacao

Para el caso del análisis de contenido de plomo en el cotiledón del cacao, en lo que respecta al diagrama de caja y bigotes ilustrado en la Figura 4, las fincas 2, 4 y 5 se determinaron medianas que oscilan entre 0,0903 a 0,0909 mg/kg, en comparación de la finca 1 y 3, donde se obtuvieron medianas de 0,0932 y 0,0920 respectivamente. Uno de los posibles factores que intervienen en la variación de concentración de plomo en

la finca 1, como se expuso anteriormente, los valores referenciados se deben a que la muestra fue tomada de una plantación cercana a una zona donde se lleva a cabo actividades mineras y por la cual atraviesa un río que suele usarse para riego de las cosechas; mientras que en la finca 3 las muestras fueron tomadas cerca de la carretera, la cual pudo verse influenciada por la combustión de la gasolina efectuada por los vehículos que circulan cerca del sector.

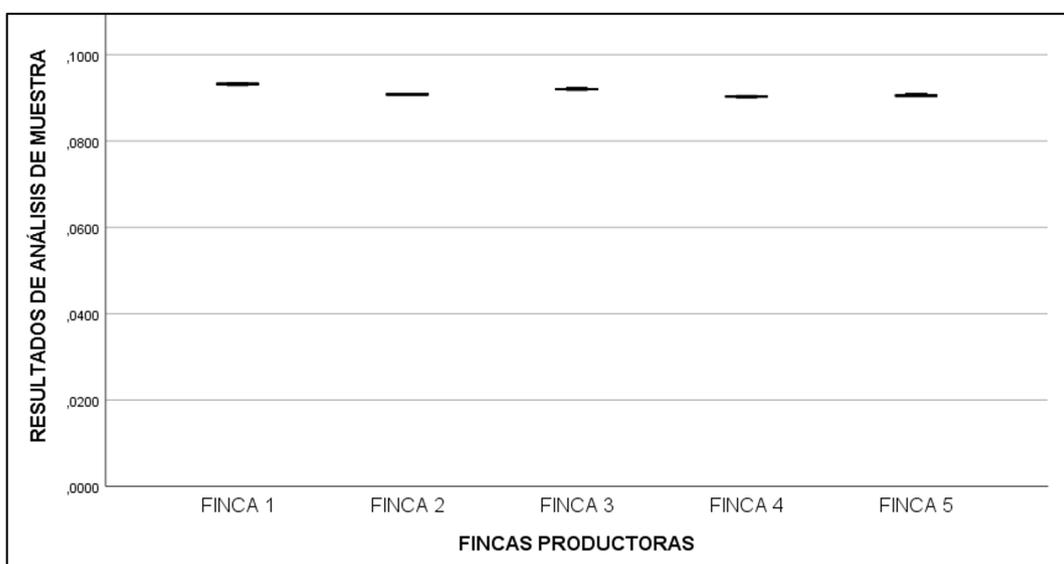


Figura 4. Diagrama de caja y bigote del contenido de Pb en el cotiledón del cacao

En efecto, (Assa et al, 2018) manifiestan que los resultados de su investigación en cuantificación de Pb oscilaron entre 0,0902 y 0,0905 mg/kg, los cuales se asimilan en base a la investigación, donde determinaron metales pesados en almendras de cacao después del proceso de fermentación. Otra investigación proporcionada por (Puga et al, 2006) determinaron que las variaciones de concentración de Cd y Pb no se ven afectadas por la manipulación en el proceso de recolección y secado, sino se atribuye a factores como el agua, tipos de suelo, uso de productos agrícolas o uso de combustibles. Dentro del contexto, estudios realizados por (Prieto et al, 2009) indican que los metales pesados se presentan en la litosfera como consecuencia de las actividades antropogénicas y que dicho factor puede deberse especialmente a la incineración de los residuos sólidos urbanos, uso de lodos residuales practicados en las labores agrícolas, agroquímicos o abonos orgánicos sin compostar.

Comparación de los valores obtenidos de cadmio y plomo con los límites máximos recomendado por la Comisión del Códex Alimentarius

La normativa del Códex Alimentarius establece límites máximos permisibles en lo que corresponde a toxinas, metales pesados u otro tipo contaminantes que puedan encontrarse en los alimentos. En base a ello indica que, el contenido de cadmio en la almendra de cacao y derivados como chocolates mayor al 70% de sólidos de base seca es de 0.9 mg/kg; de acuerdo con los resultados obtenidos en la investigación, la concentración de cadmio en las muestras de las 5 fincas representan un porcentaje menor del 40% en relación a la normativa, encontrándose por debajo del límite permisible.

Por otra parte, se detalla los niveles máximos permisibles de contenido de plomo en frutas con semillas, donde incluyen al cacao que corresponde como límite aceptable a 1 mg/kg; de acuerdo con la investigación la concentración de plomo determinada en las muestras de las 5 fincas representan un porcentaje menor del 25% en comparación a lo establecido por la normativa, los mismo que se encuentran por debajo del límite permisible. Por lo tanto, ambos parámetros de

cadmio y plomo si cumplen con los requisitos estipulados por la presente normativa.

La investigación realizada por (El Salous & Pascual, 2018), en el cantón Naranjal, donde se hizo una evaluación de cadmio, plomo y ocratoxina en cascarillas de cacao, indican que los valores determinados se encuentran por debajo de lo permisible en base a la normativa INEN 616: 2015 y 621:2010, y que dichos valores son aceptables para la exportación del cacao. Por otro lado, (Arévalo et al, 2016), tuvieron como objetivo medir la influencia del pH en los niveles de absorción del plomo en granos de cacao en la provincia de Esmeralda, donde el promedio de los resultados abarcados en el contenido de plomo, se encuentran por debajo de lo estipulado de acuerdo a la norma INEN 616:2015.

Caso contrario sucede en la investigación por (Díaz et al, 2018), donde los resultados obtenidos de plomo en cotiledón y testa en muestras de fincas productoras del cantón Vinces, se recalzó que, en el cotiledón, en nueve fincas los valores sobrepasan de lo permisible estipulado actualmente por los países europeos FAO/WHO: 2019 que es de 3 mg/kg, y concluyen que dichas variaciones de incremento en metales pesados se deben a los factores o actividades antropogénicas que se ven influenciado en el sector durante el periodo de las cosechas del fruto.

IV. CONCLUSIONES

Los resultados de los parámetros físico-químicos de las muestras de testa y cotiledón de las almendras de cacao, evidencian que estos pueden ser indicios de acumulación de metales pesados, principalmente al pH que se relaciona con la acidez, ya que es inversamente proporcional, donde indica que el porcentaje de acidez mientras más alto sea, mayor será el contenido de contaminante, teniendo en cuenta factores de acuerdo en donde se desarrolla este tipo de fruto.

Existe una ligera concentración de cadmio y plomo en la testa del cacao; en comparación del cotiledón, la cual presenta una diferencia menor. Esto puede deberse a mecanismos como la absorción que tiene la planta de cacao, acumulándose de forma ascendente siendo las más afectada la cáscara del fruto.

Los resultados obtenidos de cadmio y plomo si cumplen con lo estipulado de acuerdo a la Comisión del Códex Alimentarius, ya que se encuentran por debajo de los límites permisibles de la normativa referente a frutas con semillas y chocolates. Sin embargo, se debe tener un control en la finca cercana a la zona minera del sector, ya que es la más afectada y en un futuro dichos resultados podrían verse influenciados con respecto a la acumulación de estos metales.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amorim, G., Reis, Q., Valle, R., Andrade, G., & Moreira, S. (2017). Influencia de factores agroambientales sobre la calidad del clon de cacao (*Theobroma cacao* L.) PH-16 en la región cacaotera de Bahia, Brasil. *Ecosistemas y Recursos agropecuarios*, 4(12), 579-587. doi:10.19136/era.a4n12.1274
- Andrade Almeida, J., Rivera García, J., Chire Fajardo, G., & Ureña Peralta, M. (2019). Propiedades físicas y químicas de cultivares de cacao (*Theobroma cacao* L.) de Ecuador y Perú. *Enfoque UTE*, 10(4), 1-12. doi:10.29019/enfoque.v10n4.462
- Arévalo, E., Obando, M., Zuñiga, L., Arévalo, C., Baligar, V., & He, Z. (2016). Metales pesados en suelos de plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en tres regiones del Perú. *Ecología Aplicada*, 15(2), 82-87. doi:10.21704/rea.v15i2.747
- Assa, A., Noor, A., Yunus, M., & Djide, M. (2018). Heavy metal concentrations in cocoa beans (*Theobroma cacao* L.) originating from East Luwu, South Sulawesi, Indonesia. *Conference on Science*, 39(1), 1-5. doi:10.1088/1742-6596/979/1/012011
- Barbosa, C., Bandeira, M., Fonseca, L., da Silva, E., Oliveira, C., & Soares, E. (2020). Chemical composition and fatty acids profile of chocolates produced with different cocoa (*Theobroma cacao* L.) cultivars. *Food Science and Technology*, 40(2), 326-333. doi:10.1590/fst.43018
- Comisión Europea. Reglamento (CE) No. 333. (2007). Métodos de muestreo y análisis para el control oficial de los niveles de plomo, cadmio, mercurio, estaño orgánico, 3-MCPD y Benzo(a)Pireno en los productos alimenticios. Obtenido de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32007R0333>
- Díaz, L., Mariano, E., & Domínguez, N. (2018). Determinación de Cadmio y Plomo en almendras de cacao (*Theobroma cacao*), proveniente de fincas de productores orgánicos del cantón Vines. *Espirales*, 2(15), 78-90. Obtenido de <http://www.revistaespirales.com/index.php/es/article/view/213/159>
- El Salous, A., & Pascual, A. (2018). Determinación de cadmio, plomo y ocratoxina en la harina proveniente de las cascarillas de dos variedades de cacao en Ecuador. *I+D Tecnológico*, 14(1), 49-53. doi:10.33412/idt.v14.1.1802
- Intriago, F., Talledo, M., Cuenca, G., Macías, J., Álvarez, J., & Menjivar, J. C. (2019). Evaluación del contenido de metales pesados en almendras de cacao (*Theobroma cacao* L.) durante el proceso de beneficiado. *ProSciences*, 3(26), 17-23. doi:10.29018/issn.2588-1000vol3iss26.2019pp17-23
- Llatance, W., Gonza, C., Guzmán, W., & Modragón, E. (2018). Bioacumulación de cadmio en el cacao (*Theobroma cacao*) en la Comunidad Nativa de Pakun, Perú. *Forestal del Perú*, 33(1), 63-75. doi:10.21704/rfp.v33i1.1156
- Londoño Franco, L. F., Londoño Muñoz, P. T., & Muñoz García, F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145-153. doi:10.18684/BSAA(14)145-153
- Mite, F., Carrillo, M., & Durango, W. (2010). Avances del monitoreo de presencia de cadmio en almendras de cacao, suelos y aguas en Ecuador. *XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*. Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.
- NTE INEN 038. (2003). Grasas y Aceites Comestibles. Determinación de la Acidez. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/38.pdf>

- NTE INEN 176. (2012). Cacao en grano. Requisitos. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/176.pdf>
- Oviedo , R., Quimí, E., Naranjo, J., & Arias, M. (2017). Contaminación por metales pesados en el sur del Ecuador asociada a la actividad minera. *Bionatura*, 2(4), 437-441. doi:10.21931/RB/2017.02.04.5
- Prieto, J., Gonzáles, C., Román, A., & Prieto G., F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en las plantas por metales pesados provenientes de suelo y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 29-44. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93911243003>
- Puga, S., Sosa, M., Lebgue, T., Quintana , C., & Campos , A. (2006). Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera. *Ecología Aplicada*, 5(1), 150-154. doi:10.21704/rea.v5i1-2.329
- Salome, L., Tapia, W., & Villamarín, A. (2020). Verificación del método analítico de espectroscopía de absorción atómica con horno de grafito para la cuantificación de cadmio en almendra de cacao (*Theobroma cacao*). *La Granja*, 31(1), 46-60. doi:10.17163/lgr.n31.2020.04
- Vasallo, M. (2015). *Diferenciación y agregado de valor en la cadema ecuatoriana del cacao*. Quito, Ecuador: Instituto de Altos Estudios Nacionales.
- Zambrano, G. A. (2018). Evaluación de la influencia del proceso de beneficio del cacao (*Theobroma cacao*) CCN-51 de altura en su calidad final, mediante el análisis físico, físico-químico y sensorial. (tesis de pregrado), Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.