



Cadmio en plantaciones de *Theobroma cacao* L. "cacao" en la región San Martín (Lamas), Perú

Cadmium in *Theobroma cacao* L. "cacao" plantations in the San Martin region (Lamas), Peru

Karla Luz Mendoza-López¹; José Mostacero-León ^{2*}; Segundo Eloy López-Medina²; Armando Efraín Gil-Rivero²; Anthony J. De La Cruz-Castillo²; Luigi Villena-Zapata³

1Departamento de Investigación de la Facultad de Ingeniería Agraria. Universidad Católica Sede Sapientiae. Lima, Perú.

2 Departamento de Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional de Trujillo. Ciudad Universitaria, Av. Juan Pablo Segundo S/N, Trujillo- Perú.

3 Facultad de Ciencias Naturales y Aplicadas. Universidad Nacional Intercultural Fabiola Salazar Leguía de Bagua

*Autor corresponsal: jmostacero@unitru.edu.pe (J. Mostacero-León).

ID ORCID de los autores

K.L. Mendoza-López:  <https://orcid.org/0000-0003-4041-7890>

J. Mostacero- León:  <https://orcid.org/0000-0003-2556-3013>

S. E. López- Medina:  <https://orcid.org/0000-0001-7719-8607>

A. E. Gil- Rivero:  <https://orcid.org/0000-0002-4521-5588>

A. J. De La Cruz-Castillo:  <https://orcid.org/0000-0002-5409-6146>

L. Villena-Zapata:  <https://orcid.org/0000-0001-9430-0028>

RESUMEN

El fruto de *Theobroma cacao* "cacao", es considerado un súper alimento por su alto contenido vitamínico, como de minerales, antioxidantes y calorías; además de su exquisito aroma y sabor, que le ha permitido conquistar el mercado internacional. Sin embargo, un problema latente en este cultivo, es la capacidad inherente de fitoacumular cadmio en el producto final. Razón por la cual, esta investigación buscó determinar las concentraciones de cadmio en plantaciones de *T. cacao* ubicadas en San Martín (Lamas), Perú. Para ello, se realizaron colectas de hojas, granos y suelo de fincas cacaoteras, ubicadas entre los 400, 600 y 800 msnm., región San Martín. Muestras enviadas al laboratorio ICT (Instituto de Cultivos Tropicales), donde se determinaron los niveles de cadmio existentes. Los resultados se analizaron estadísticamente, demostrando la existencia de diferencias significativas entre las variables estudiadas. Se concluye, que la concentración de cadmio en plantaciones de "cacao" ubicadas entre los 600 y 800 msnm., en San Martín, supera los límites máximos permisibles indicados por la OMS; por lo que urge implementar en esta zona, estrategias tendientes a limitar la concentración de Cadmio en este cultivo; siendo una alternativa viable, el empleo de hongos micorrízicos arbusculares.

Palabras clave: "cacao"; cadmio; cultivo; metales pesados; selva.

ABSTRACT

The fruit of *Theobroma cacao* "cacao" is considered a superfood due to its high vitamin content, as well as minerals, antioxidants and calories; in addition to its exquisite aroma and flavor, which has allowed it to conquer the international market. However, a latent problem in this crop is the inherent ability to phytoaccumulate cadmium in the final product. Reason why this research sought to determine cadmium concentrations in *T. cacao* plantations located in San Martin (Lamas), Peru. For this, leaves, grains and soil were collected from cocoa farms, located between 400, 600 and 800 meters above sea level, San Martin region. Samples sent to the ICT laboratory (Instituto de Cultivos Tropicales), where the existing cadmium levels were determined. The results were statistically analyzed, showing the existence of significant differences between the variables studied. It is concluded that the cadmium concentration in "cacao" plantations located between 600 and 800 meters above sea level, in San Martin, exceeds the maximum permissible limits indicated by the WHO; Therefore, it is urgent to implement in this area, strategies aimed at limiting the concentration of Cadmium in this crop; being a viable alternative, the use of arbuscular mycorrhizal fungi.

Keywords: "cacao"; cadmium; culture; heavy metals; jungle.

Recibido: 27-03-2021.

Aceptado: 08-06-2021.



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY-NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

INTRODUCCIÓN

Theobroma cacao L. “cacao”, es un cultivo de importancia económica para los pobladores de la selva peruana; catalogado como un producto de mucha importancia en el mundo, por su aporte de minerales, antioxidantes y vitaminas; convirtiéndose en un alimento completo, capaz de ser un potente estimulante del sistema nervioso, cardiovascular y digestivo; efecto atribuido a la presencia de teobromina y cafeína que tienen acción medicinal y farmacológica (Rodríguez & Marin, 2020; Vásquez et al., 2016). Todo ello ha ocasionado el incrementado de su cultivo, ante la demanda del mercado nacional e internacional, que promueve el consumo de sus granos para una alimentación saludable (Crozier et al., 2011; Waizel et al., 2012). Por lo que actualmente el cultivo de *T. Cacao* “cacao”, se maneja en sistemas agroforestales, con la intención de conservar la fertilidad y prevenir la erosión de suelo (Arévalo et al., 2015; Notaro et al., 2014).

Por otro lado, si bien los suelos cumplen un rol esencial en adecuado desarrollo de una planta, uno de los problemas de este cultivo, es la capacidad inherente de fitoacumular cadmio, el cual es considerado un contaminante metálico, que deteriora paulatinamente la salud humana (AbuShady et al., 2017; Antoine et al., 2017; Shakir et al., 2017).

Este mineral (Cd), se presenta de forma natural en la corteza terrestre o como consecuencia del desarrollo de actividades antrópicas; considerado un metal pesado, tóxico y/o nocivo para vegetales y animales, incluido el hombre, que tiene la tendencia de acumularse en el organismo, pudiendo afectar el hígado, pulmón, riñón, sistema óseo y testículos; además de contribuir en el desarrollo de enfermedades degenerativas y diferentes tipos de cáncer (Aguirre, 2020; Aguirre et al., 2020; Pérez y Azcona, 2012; Martínez et al.,

2013; Rodríguez, 2017).

Existiendo especies vegetales consideradas hiperacumuladoras, capaces de almacenar metales pesados en sus hojas, frutos y raíces; para luego degradarlas y/o estabilizarlas (Beltrán y Gómez, 2016).

Y sabiendo que investigaciones, como las realizadas por Oc et al. (2018) y Meter et al. (2019), avalan que *T. cacao* L. “cacao” es una de las especies cultivables, con mayor concentración de cadmio en sus estructuras vegetales; esto debido a la exposición directa y continua con cadmio en las plantaciones de este cultivo que tienen como común denominador, el accionar antrópico negativo; limita la exportación de los productos finales obtenidos de este recurso; toda vez que esto constituye un riesgo muy alto para salud (Amadi et al., 2017; Chavez, 2020a; Chavez, 2020b; Paul, 2017).

A hora bien, la Unión Europea, estipula como límite máximo permisible la presencia de 0.10 ppm de cadmio en leche chocolatada; así como que el contenido de materia seca total de “cacao”, no debe sobrepasar el 30%; de igual manera, estipula que el límite máximo permisible para la presencia de cadmio en “cacao” en polvo o chocolate para beber, no debe exceder los 0.60 ppm (Galarza, 2020; Meter et al., 2019).

Ante la necesidad de vislumbrar la realidad en la que se encuentran las plantaciones cacaoteras de la región San Martín; esta investigación buscó determinar las concentraciones de cadmio en plantaciones de *T. cacao* “cacao” ubicadas en San Martín (Lamas), Perú; como una forma de esclarecer esta problemática latente en la Selva Peruana, a la par de sensibilizar y promover futuras investigación que traten de mermar esta situación crítica que afrontan estos cultivares, y así fomentar la sustentabilidad de los mismos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de colecta

Se seleccionó al azar fincas cacaoteras, pertenecientes a la región San Martín (Lamas), ubicadas a altitudes de 400, 600 y 800 msnm. Cabe destacar que las plantaciones de “cacao” estudiadas, fueron aprovechadas dentro del régimen de sistemas agroforestales como mínimo por 3 años.

Toma de muestras

Para la obtención de las muestras de hojas, se utilizó tijeras podadoras y sobres manila tamaño A4. Se colectaron hojas las cuales fueron depositadas en sobres manila, para ser secadas en estufa a 60°C, por 24 horas. Ahora bien, para la colecta de los frutos, se utilizó tijeras de podar, machete y una balanza. Una vez colectado, se extrajo las semillas, las cuales fueron depositadas en bolsas de polipropileno de 5 x 10, debidamente codificadas para su posterior secado en estufa (Ministerio de Agricultura y Riego, 2019).

Por otro lado, para las muestras de suelo litosférico se tomó la metodología propuesta por León (2006), la cual consistió en tomar muestras a una profundidad de 10 cm y depositarla 500 g en bolsas de polipropileno de 5x10 cm.



Figura 1. Plantaciones cacaoteras de la región San Martín (Lamas).



Figura 2. Frutos de *T. Cacao* "cacao", región San Martín (Lamas).



Figura 3. Semillas de *T. Cacao* "cacao", región San Martín

Análisis físico y químico

Las muestras colectadas de hojas, granos y suelo fueron enviadas al ICT (Instituto de Cultivos Tropicales), donde se determinaron los niveles de cadmio existentes en cada muestra, empleándose el método de digestión ácida EPA-3050B ($\text{HNO}_3 + \text{HCl} + \text{H}_2\text{O}_2$) y Espectrofotometría de Absorción Atómica. De la misma manera, para la caracterización del suelo (tabla 2), también se remitieron muestras al ICT (Instituto de Cultivos Tropicales), donde se determinó la textura empleando Hidrómetro, cálculo de pH empleando potenciómetro, conductividad eléctrica empleando conductímetro, determinación de carbonatos (método Gas-volumétrico, cálculo de fósforo disponible (Método Olsen modificado), potasio y sodio (Espectroscopia de absorción atómica), materia orgánica (Método Walkley -black), calcio y magnesio (Espectroscopia de absorción atómica), acidez intercambiable (Método volumétrico KCL), acidez potencial (Woodruff modificado), CIC pH 7.0 (acidez potencial + suma de bases), Fe-Cu-Zn-Mn (Método Olsen modificado + Espectroscopia de absorción atómica), boro (Extracción + Espectrometría) y azufre (Extracción+ turbidimetría).

Análisis estadístico

Se empleó un diseño descriptivo. Para ello, las muestras biológicas fueron colectadas a diferentes altitudes (400, 600 y 800 msnm.), haciendo un total de 216 repeticiones. Los resultados fueron analizados con el software libre R Studio versión 4.0.3., empleándose la prueba estadística t student, prueba Post hoc de Games-Howell y ANOVA de Welch.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Del análisis estadístico, se observa que el valor p-de significancia del análisis de varianza de Welch (tabla 1 y figura 4), resultó ser un valor menor que

0,01 afirmándose el hecho de que existen diferencias significativas en cuanto a los valores de concentración del metal pesado cadmio (ppm).

Tabla 1

Análisis estadístico de las concentraciones de cadmio en plantaciones cacaoteras ubicadas en San Martín (Lamas), Perú, según altitudes y variables de estudio

Altitud (msnm)	Variables de estudio					
	Grano (ppm)*	Sig**	Hoja (ppm)*	Sig**	Suelo (ppm)*	Sig**
400	0,0758 ^c ±0,0042	0,000	0,3558 ^b ±0,1460	0,000	0,3025 ^b ±0,0532	0,005
600	0,2850 ^b ±0,1633		1,6250 ^a ±0,4288		0,4275 ^a ±0,0545	
800	0,8875 ^a ±0,2767		0,9908 ^{ab} ±0,6433		0,3408 ^b ±0,0391	

Nota: Elaboración propia con los resultados obtenidos del software libre R Studio versión 4.0.3

*Estimación t student, al 95,0% de confianza con Media±2,201*Error estándar de la media, las medias con letras diferentes son significativamente diferentes (haciendo uso de la prueba Post hoc de Games-Howell).

**Corresponde al p-valor de significancia asociado al ANOVA de Welch, siendo $p < 0,01$ para todos los casos.

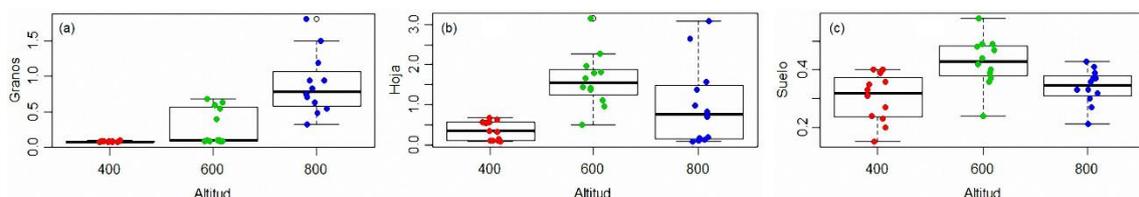


Figura 4. Diagrama de cajas y bigotes (Boxplots) de las concentraciones de cadmio (ppm) en plantaciones de *Theobroma cacao* L. ubicadas en la Región San Martín (Lamas), Perú, en grano (a); en hoja (b) y en suelo (c).

Cabe resaltar que el Cd es un contaminante altamente estable y no degradable, que mantiene una alta movilidad, toxicidad y posibilidad de bioacumularse en organismos vivos (Beltrán, 2001). La presencia de este contaminante está ampliamente distribuida en zonas agrícolas y forestales, como consecuencia de las actividades antrópicas negativas y/o por causas naturales; por lo que la presencia de este contaminante en cultivos agrícolas; genera disminución en el crecimiento y fotosíntesis de las especies afectadas, causando clorosis como consecuencia de su intoxicación. Sin embargo, especies como *T. Cacao*, tiene una alta capacidad de tolerar este contaminante, accionando su bioacumulación en sus diferentes órganos vegetales (Furcal y Torres, 2020).

La tabla 1 también muestra elevadas concentraciones de este contaminante en granos, hojas y suelo; a niveles tales, que llegan a superar el límite máximo permisible de 0,5 ppm. Lo mencionado se puede corroborar a través de la prueba post hoc de Games-Howell, que muestra una variación significativa en cuanto a los valores de cadmio (ppm) a cada nivel de altitud, presentando en el nivel de 800 (msnm) el mayor promedio significativo para granos y hojas, seguido por los niveles 600 (msnm) y 400 (msnm). Mientras que el análisis del suelo, arrojó que a 600 (msnm), se puede encontrar la mayor concentración promedio de Cadmio; no encontrándose diferencias significativas entre los niveles de altitud de 400 y 800 (msnm). De todo ello se infiere que hay una mayor concentración de Cd en hoja que en suelo y fruto; esto se debe a que el cadmio tiene la posibilidad de translocarse y movilizarse llegando a diferentes órganos (Oc et al., 2018). Bajo este análisis existe la posibilidad que aparte de la contaminación del suelo, existe una contaminación en el agua empleada para la aplicación de insumos foliares (fertilizantes e insecticidas), ya que para tal fin, se emplean las aguas del Río Mayo y Cumbaza, donde día a día, se realiza el vertimiento de relaves mineros y

contaminantes procedentes de actividades industriales. Realidad latente y lamentable, que estaría implicada en la gran bioacumulación de Cd en hoja de estos cultivares; generando a su vez el sobrepaso de los 0,5 ppm, permitidos por la OMS; hecho que conlleva a un problema de gravedad para las zonas productoras de "cacao" (Furcal y Torres, 2020; García, 2019; Serrano et al., 2008).

De los resultados obtenidos en las Tablas 2; se puede apreciar, que el pH osciló entre 6,15 – 6,23; con una concentración de Cd que supera los límites máximos permisibles. Sin embargo, se reporta para los distritos de Huicungo y San Martín de la región San Martín, concentraciones de cadmio que superan las 2,09 ppm, corroborándose que la presencia y disponibilidad de Cd en suelos, se ve favorecida en suelos con pH ácido (García, 2019; Quintero, 2020).

Por otro lado, del análisis de suelos (Tabla 2), se identificó diferentes concentraciones de N, P y K, además de diferentes cationes cambiabiles en cmol/kg. Datos que concuerdan con lo investigado por Hernández et al. (2019), quienes afirman que los elementos S, P, K, Fe y Zinc contrarrestan el estrés causado por el Cd, sumado al hecho que la presencia del K reduce la absorción y translocación de Cd en plantas cultivables (Samet et al., 2017), lo que de alguna u otra forma puede corroborar la presencia de una menor concentración de Cd en las parcelas de 400 msnm.

Por todo lo mencionado, actualmente se han optado estrategias que buscan limitar la concentración de Cd en planta. Estas van desde seleccionar variedades tolerantes, con un menor poder fitoacumulativo; modificación del manejo de la nutrición y riego; inoculación de microorganismo beneficiosos como las micorrizas y/o adición de reguladores de crecimiento y enmiendas orgánicas que logren reducir y/o limitar la entrada y transporte del Cd en la planta de *T. Cacao* (Dionisio 2020; García et al., 2002; Huaraca et al., 2020; Kabata y Pendas, 2001; Sandoval et al., 2019; Quito, 2020).

Tabla 2

Caracterización de suelo (Parcela 400, 600 y 800 msnm), en plantaciones cacaoteras de la región San Martín (Lamas)

Propietario	Altitud (msnm)	pH	CE dS/m	CaCO ₃ (%)	M.O (%)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	Análisis Mecánico (%)			Cationes Cambiabiles cmol/kg						
									Arena	Limo	Arcilla	Clase textural	CIC	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ +H ⁺
Jeiner Quintos	800	6,15	0,13	<0,3	4,2	0,19	5,45	115	13,96	33	53,04	Arc	23,06	15,12	1,87	0,29	0,17	0,00
Ivo Ramírez	600	6,22	0,15	<0,3	2,97	0,13	6,02	141	40,96	33	26,04	Fra	20,47	15,55	2,4	0,36	0,16	0,00
Ronel Ramírez	400	6,23	0,15	<0,3	2,79	0,13	4,89	178	13,96	27	59,04	Arc	20,62	12,08	1,78	0,45	0,11	0,00

CONCLUSIONES

Los niveles de cadmio en plantaciones de *T. cacao* L. "cacao" en la región San Martín (Lamas) entre los 800 y 600 msnm, superan los límites máximos permisibles estipulados por la OMS. Es necesario, implementar en esta zona, estrategias que busquen limitar la concentración de Cadmio en

este cultivo, a la par de fomentar su sustentabilidad; toda vez que la industrialización del mismo resulta indispensable en el crecimiento de los pueblos y/o actores locales, en particular, y del Perú en general.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial al FONDECYT “Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica”, por financiar el desarrollo de la presente investigación, en el marco de las actividades del proyecto: “Biorremediación con micorrizas arbusculares nativas en el control

del cadmio de clones de *Theobroma cacao* como estrategia sostenible a la seguridad alimentaria ecológica en la Amazonía peruana” con Contrato 105-2018 – FONDECYT – BM – IADT – AV y a la Universidad Católica Sedes Sapientiae como entidad ejecutora del proyecto en mención.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AbuShady, M., Fathy, H., Fathy, G., A., Abd El Fatah, S., Ali, A., & Abbas, M. (2017). “Blood lead levels in a group of children: the potential risk factors and health problems.” *Journal de Pediatria*, 93(6), 619-624.
- Aguirre, K. (2020). Estudio del contenido del cadmio (cd) en el cultivo de cacao. (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Piura, Perú.
- Aguirre, S., Piraneque, N., & Vásquez, J. (2020). Contenido de metales pesados en suelos y tejidos de cacao en el departamento del Magdalena, Colombia: énfasis en cadmio. *Entramado*, 6 (1), 298-310.
- Arévalo, G.E., Canto, M., Alegre, J., Loli, O., Julca, A., & Baligar, V. (2015). Changes in Soil Physical and Chemical Properties in Long Term Improved Natural and Traditional Agroforestry Management Systems of Cacao Genotypes in Peruvian Amazon. *PLOS ONE*, 10(8), 1-29.
- Amadi, C., Nkeiruka Z., & Orisakwe. O.E. (2017). Heavy metals in miscarriages and stillbirths in developing nations. *Middle East Fertility Society Journal*, 22(2), 91-100.
- Antoine, J., Hoo Fung, L., & Grant, CH. (2017). Assessment of the potential health risks associated with the aluminium, arsenic, cadmium and lead content in selected fruits and vegetables grown in Jamaica. *Toxicology Reports*, 4, 181-187.
- Beltrán, M. (2001). Fitoextracción en suelos contaminados con Cadmio y Zinc usando especies vegetales comestibles. (tesis pregrado), Universidad Autónoma Metropolitana. México.
- Betrán, M., & Gómez, A. (2016). Biorremediación de metales pesados cadmio (Cd), cromo (Cr) y mercurio (Hg), mecanismos bioquímicos e ingeniería genética: una revisión. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 12(2), 172- 197.
- Chavez, Y. (2020a). Evaluación de la concentración de cadmio en el suelo y frutos de una plantación de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Aucayacu, distrito de José Crespo y Castillo - Huánuco 2020. (tesis pregrado). Universidad de Huánuco. Huánuco.
- Chavez, J. (2020b). Efecto de fuentes y tres niveles de materia orgánica, en la reducción de la absorción de cadmio en almendras de cacao en Leoncio Prado. (tesis posgrado). Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo Maria, Perú.
- Crozier, S., Preston, A., Hurst, J., Payne, M., Mann, J., Hainly, L., & Miller, D. (2011). Cacao seeds are a "Super Fruit": A comparative analysis of various fruit powders and products. *Chemistry Central Journal*, 5(1), 5
- Dionisio, E. (2020). Impacto de productos biodegradables aplicados al suelo sobre la acumulación de Cadmio en Cacao (*Theobroma cacao* L.). (tesis pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Furcal, P., & Torres, J. (2020). Determinación de concentraciones de cadmio en plantaciones de *Theobroma cacao* L. en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 33(1), 122-137.
- Galarza, G. (2020). Límites de cadmio en la unión Europea y su incidencia en las exportaciones de Cacao en grano del Ecuador. (tesis pregrado). Universidad de Guayaquil, Ecuador.
- García, J. (2019). Comparación de la concentración de cadmio en plantaciones de cacao en los distritos de Huicungo y San Martín de Alao - 2018. (tesis pregrado). Universidad Cesar Vallejo. Tarapoto, Perú.
- García, C., Moreno, J., Hernández, L., & Polo, A. (2002). Metales pesados y sus implicaciones en la calidad del suelo. <http://digital.csic.es/handle/10261/111812>
- Hernández, Y., Rodríguez, P., Peña, M., Meriño, Y., & Cartaya, O. (2019). Toxicidad del Cadmio en las plantas y estrategias para disminuir sus efectos. Estudio de caso: El tomate. *Cultivos Tropicales*, 40 (3), 1-18.
- Huaraca, J., Pérez, L., Bustinza, L., & Pampa, N. (2020). Enmiendas orgánicas en la inmovilización de cadmio en suelos agrícolas contaminados: una revisión. *Información tecnológica*, 31(4), 139-152.
- Kabata, A., & Pendias, H. (2001). Trace elements in soils and plants. Editorial CRC Press. New York, USA. 403p.
- León, D. (2006). Evaluación y caracterización de micorrizas arbusculares asociadas a yuca (*Manihot esculenta* sp.) en dos regiones de la Amazonía Colombiana. (tesis pregrado). Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. 125 pp.
- Martínez, K., Souza, V., Buzio, L., Gómez, L., & Gutiérrez, M. (2013). Cadmio: efectos sobre la salud. Respuesta celular y molecular. *Acta Toxicológica Argentina*, 21(1), 1-17.
- Meter, A., Atkinson, R., & Laliberte, B. (2019). Cadmio en el cacao de América Latina y el Caribe - Análisis de la investigación y soluciones potenciales para la mitigación. Bioversity International, Roma, octubre 2019.
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2019). Protocolos de muestreo para la determinación de cadmio en suelo, hojas, agua y granos de cacao. Resolución Ministerial N°0007-2019-MINAGRI. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/per186937.pdf>
- Notaro, K., Medeiros, D., Duda, P., Silva, O., & Moura, D. (2014). Agroforestry systems, nutrients in litter and microbial activity in soils cultivated with coffee at high altitude. *Agricultural Microbiology*, 7(2), 87-95.
- Pérez, P., & Azcona, M. (2012). Los efectos del cadmio en la salud. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, 17(3), 199-205.
- Oc, W., Gonza, C., Guzmán, W., Pariente, E. (2018). Bioacumulación de cadmio en el cacao (*Theobroma cacao*) en la Comunidad Nativa de Pakun, Perú. *Revista Forestal del Perú*, 33 (1), 63 - 75.
- Quito, J. (2020). Biochar como enmienda edáfica para bajar los niveles de absorción de cadmio en cacao (*Theobroma cacao* L.), cultivar ccn-51. (tesis pregrado). Universidad Técnica de Machala. Machala, Ecuador.
- Quintero, E. (2020). Determinación de las condiciones del suelo de dos cultivos de cacao y su relación con la biodisponibilidad y absorción de Cadmio. (tesis pregrado). Universidad Católica del Oriente. Colombia.
- Rodríguez, D. (2017). Intoxicación ocupacional por metales pesados. *MEDISAN*, 21(12), 3372.
- Rodríguez, J., & Marin, N. (2020). Desarrollo de líneas de cacao (*Theobroma cacao* L.) editadas genéticamente que limiten la acumulación de cadmio en sus tejidos: FASE-I. (tesis pregrado). Universidad EAFIT. Medellín, Colombia.
- Samet, H., Çikili, Y., & Atikmen, N. Ç. (2017). Role of Potassium in Alleviation of Cadmium Toxicity in Sunflower *Helianthus annuus* L. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University*, 34(1), 179-88.
- Sandoval, J., Pérez, U., Rodríguez, A., & Torres, E. (2019). Alta presencia de cadmio resulta en baja diversidad de hongos formadores de micorrizas arbusculares asociados a cacao (*Theobroma cacao* L.). *Acta Biológica Colombiana*, 5(3), 333-344.
- Serrano, M., Martínez, N., Romero, M., Del Rio, L., & Sandallo, L. (2008). Toxicidad de cadmio en plantas. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/eco-sistemas/articloe/view/409>
- Shakir, E., Zahraa, Z., & Hameed, A. (2017). Environmental and health risks associated with reuse of wastewater for irrigation. *Egyptian Journal of Petroleum*, 26(1), 95-102.
- Vásquez, A., Ovando, I., Adriano, L., Betancur, D., & Salvador, M. (2016). Alcaloides y polifenoles del cacao, mecanismos que regulan su biosíntesis y sus implicaciones en el sabor y aroma. *ALAN*, 66(3), 239-254.
- Waizel, S., Waizel, B., Magaña, J., Campos, P., & San Esteban, J. (2012). Cacao y chocolate: seducción y terapéutica. *Revista Anales Médicos*, 57(3), 236-245.