





Concentraciones de Cadmio en el sistema suelo-planta en los cultivos de café en dos sistemas de producción

Cadmium concentrations in the soil-plant system in coffee crops in two production systems

Concentrações de cádmio no sistema solo-planta das culturas de café em dois sistemas de produção

Manuel Oliva¹, Aguinaldo García Pérez¹, Ilser Isidro Chuquizuta Ventura¹, Karol Rubio¹, Santos Leiva¹, Roicer Collazos¹

RESUMEN

La preocupación por el contenido de cadmio en los suelos de áreas productoras de cultivos va en aumento en los últimos años. En la presente investigación, se evaluó la concentración de Cadmio en el sistema suelo, hoja y fruto en fincas cafetales bajo dos sistemas de producción, orgánica y convencional en el distrito de Omia, región Amazonas, Perú. Se muestrearon suelos, hojas y frutos y se midió la concentración de cadmio mediante la técnica de espectrofotometría, luego se realizó las comparaciones de mediante un análisis de varianza; además se caracterizaron los suelos según sus características de pH, materia orgánica y conductividad eléctrica para posteriormente realizar una correlación de Pearson. Como resultado se obtuvo que la concentración de cadmio en el sistema suelo, hoja y fruto, no superan los Límites Máximos Permisibles (LMP) estipulados por el Ministerio del Ambiente del Perú, obteniendo mayores valores en el suelo con $0,72 \text{ mg kg}^{-1}$, mientras que menores valores se encontró en frutos con $0,1 \text{ mg kg}^{-1}$. Comparado la concentración en dos sistemas de producción, se observa que tanto en suelo como en hojas la mayor concentración está en el sistema orgánico, mientras que en frutos la mayor concentración está en el sistema convencional. Además, se evidencia correlación significativa y positiva entre el contenido de cadmio de los suelos y características fisicoquímicas de estos como pH y porcentaje materia orgánica. En conclusión, los resultados obtenidos no sobrepasan los LPM, por lo que la concentración de cadmio en este cultivo no se considera como un problema.

Palabras claves: contaminación de los suelos, límites máximos permisibles, materia orgánica, metales pesados, pH.

ABSTRACT

Concern about cadmium content in the soils of crop-producing areas has been increasing in recent years. In the present investigation, the concentration of cadmium in the soil, leaf and fruit system was evaluated in coffee farms under two production systems, organic and conventional, in the district of Omia, Amazonas region, Peru. Soils, leaves and fruits were sampled and the cadmium concentration was measured by spectrophotometry, then a comparison was made by means of an analysis of variance; the soils were also characterized according to their pH, organic matter and electrical conductivity characteristics and a Pearson correlation was carried out. As a result, the concentration of cadmium in the soil, leaf and fruit systems did not exceed the Maximum Permissible Limits (MPL) stipulated by the Peruvian Ministry of the Environment, obtaining higher values in the soil with 0.72 mg kg^{-1} , while lower values were found in the fruit with 0.1 mg kg^{-1} . Comparing the concentration in two production systems, it is observed that both in soil and leaves the highest concentration is in the organic system, while in fruits the highest concentration is in the conventional system. In addition, a significant and positive correlation was found between the cadmium content of the soils and their physicochemical characteristics such as pH and percentage of organic matter. In conclusion, the results obtained do not exceed the LPM, so cadmium concentration in this crop is not considered a problem.

Keywords: soil pollution, maximum permissible limits, organic matter, heavy metals, pH.

¹Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; manuel.oliva@untrm.edu.pe

RESUMO

A preocupação com o teor de cádmio nos solos das áreas de produção de culturas tem vindo a aumentar nos últimos anos. Na presente investigação, a concentração de cádmio no solo, folha e sistema de frutos foi avaliada em fazendas de café sob dois sistemas de produção, orgânico e convencional, no distrito de Omia, região do Amazonas, Peru. Os solos, folhas e frutos foram amostrados e a concentração de cádmio foi medida por espectrofotometria, depois foi feita uma comparação através de uma análise de variância; os solos também foram caracterizados de acordo com o seu pH, matéria orgânica e características de condutividade eléctrica e depois foi efectuada uma correlação de Pearson. Como resultado, a concentração de cádmio no solo, folhas e sistemas de fruta não excedeu os Limites Máximos Permitidos (MPL) estipulados pelo Ministério do Ambiente peruano, obtendo valores mais elevados no solo com 0,72 mg kg⁻¹, enquanto valores mais baixos foram encontrados na fruta com 0,1 mg kg⁻¹. Comparando a concentração em dois sistemas de produção, observa-se que tanto no solo como nas folhas a maior concentração está no sistema orgânico, enquanto que nos frutos a maior concentração está no sistema convencional. Além disso, foi encontrada uma correlação significativa e positiva entre o teor de cádmio dos solos e as suas características físico-químicas, tais como o pH e a percentagem de matéria orgânica. Em conclusão, os resultados obtidos não excedem o LPM, pelo que a concentração de cádmio nesta cultura não é considerada um problema.

Palavras-chave: contaminação do solo, limites máximos admissíveis, matéria orgânica, metais pesados, pH.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de café es de los más importantes en el Perú, considerando que en el 2016 se cosecharon 384 mil hectáreas con un valor de 277 mil 800 toneladas de la presentación en pergamino (Sifuentes et al., 2017). A nivel mundial se producen alrededor de 1,6 millones de hectáreas de café orgánico y el 80 % de estas plantaciones se encuentran en países en desarrollo como Perú (Tudela, 2015).

Los metales pesados se definen como elementos con un peso específico mayor o igual a 5 g/cm³ (Khan et al., 2015). La contaminación por metales pesados es un problema que se ha identificado como creciente a nivel mundial, comprometiéndose la seguridad alimentaria y la salud de los habitantes del planeta (Reyes et al., 2016; Chen et al., 2013).

Los metales pesados son componentes naturales de los suelos y provienen de procesos biogeoquímicos, sin embargo las actividades antropogénicas han alterado su equilibrio y la concentración de estos elementos en los suelos agrícolas va en aumento en las últimas décadas (Dixit et al., 2015; Huang et al., 2015), este aumento responde a que las actividades humanas, entre ellas la agricultura, representan una fuente importante de estos metales que causan el deterioro de los recursos hídricos y ambientales (Senior et al., 2016), es así que estudios hechos en Chile (Bonomelli et al., 2003) e Irán (Cheraghi et al., 2013) demuestran que el uso continuo de fertilizantes genera aumentos paulatinos en la concentración de metales pesados especialmente Cadmio.

La absorción de los metales del suelo por parte de los organismos vegetales está influenciado por diversos factores ambientales y edáficos como el clima, la calidad del agua de riego, concentraciones de los metales en el suelo, hasta el grado de madurez de los vegetales al momento de la cosecha (Ali y Al-Qahtani, 2012), esta acumulación debe recibir mucho interés debido a que representa una vía de ingreso para elementos peligrosos a la cadena alimenticia (Grytsyuk et al., 2006), debiendo fortalecerse la investigación en este campo.

Por otro lado, pese a que en la región se tiene una tendencia a la producción orgánica, cabe resaltar que las plantaciones consideradas hoy como orgánicas provienen de la conversión de plantaciones convencionales, donde se realizaban labores culturales como la fertilización con fuentes externas de nutrientes y el control de plagas y enfermedades con pesticidas comerciales, por lo que existirían en el suelo residuos de estos elementos utilizados en estas labores. En la región Amazonas específicamente en la provincia de Rodríguez de Mendoza distrito de Omia aún no existen estudios en los cuales se haya determinado la concentración de cadmio (Cd) en el cultivo de café; razón por la cual; se realizó esta investigación con la finalidad de comparar la concentración de cadmio presente en el sistema suelo planta, con los Límites Máximo Permisibles (LMP) por la legislación nacional de Perú y la Unión Europea.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se desarrolló en el distrito de Omia, provincia de Rodríguez de Mendoza, región Amazonas en el año 2016. El distrito de Omia se ubica en el departamento de Amazonas a 1395 m.s.n.m., en el norte del Perú. Limita por el noroeste con el distrito de Vista Alegre; por el sureste con el departamento de San Martín, por el suroeste con el distrito de Chirimoto, el distrito de Milpuc y el distrito de Santa Rosa y por el Noroeste con el distrito de San Nicolás. Encontrándose entre las coordenadas de 6° 25'01" de latitud sur y 77° 19'01" longitud oeste (Figura 1).

Para cumplir con los objetivos del estudio se seleccionaron parcelas de productores con extensión de entre 1-2 hectáreas aproximadamente de café de la variedad Catimor en número de 4 conducidas bajo en enfoque de producción convencional y 4 conducidas bajo la orientación orgánica con más de seis años de edad; estas fueron elegidas de forma que representaran la totalidad del área en estudio. En cada unidad agropecuaria seleccionada se obtuvieron muestras de suelo, hojas y frutos.

Las muestras de suelo se tomaron a 20 cm de profundidad utilizándose palas, tres muestras por cada unidad

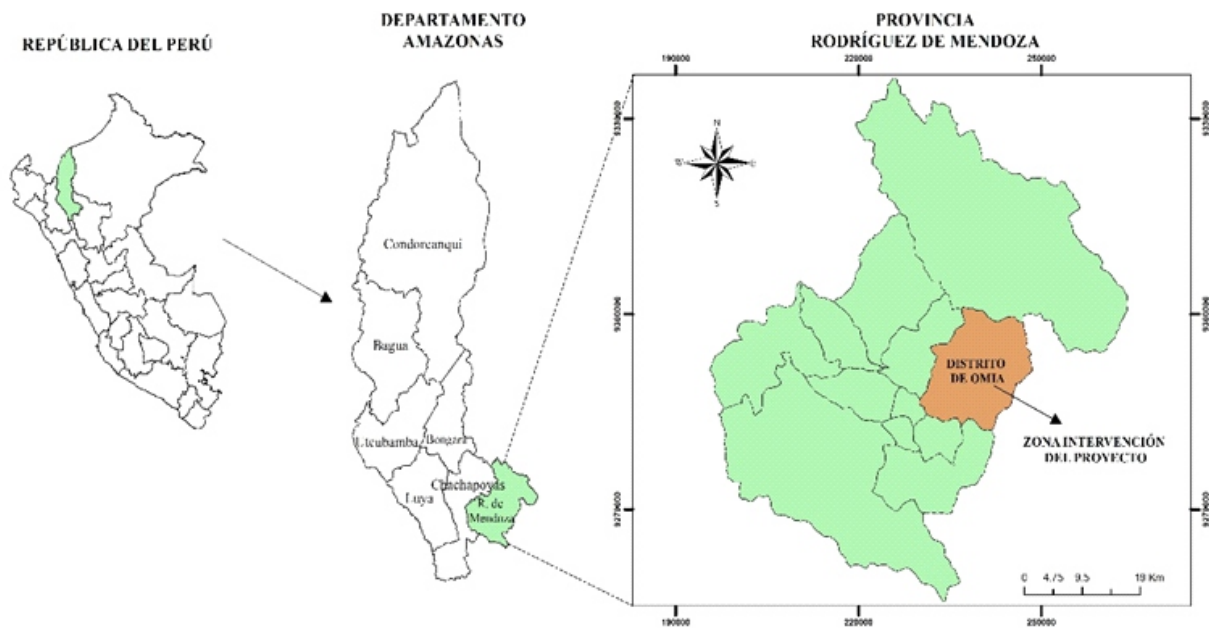


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

productiva, mismas que fueron homogeneizadas para su transporte al Laboratorio de Investigación de Suelos y Agua de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas en bolsas con cierre hermético.

Las muestras de hojas estuvieron compuestas por 50 hojas maduras, localizadas por debajo de la yema de crecimiento en las ramas principales o en los tallos, al igual que en las muestras de suelo se obtuvieron tres muestras de 50 hojas por cada unidad productiva. Del mismo modo se obtuvieron las muestras de frutos, para esto se tuvo en cuenta que hayan llegado al punto de madurez óptimo. Las muestras de hojas y frutos fueron colectadas en plantas de café adyacentes al punto de muestreo de suelo, para que los resultados de concentración de metales pesados sean comparables entre las tres muestras. Cada una de las muestras fue codificada y acondicionadas en bolsas con cierre hermético para su envío al laboratorio.

La determinación del contenido de metales pesados en las muestras de suelo, hojas y frutos, se procedió de la siguiente manera: las muestras fueron secadas a 50°C por 48 horas, una vez secas se las trituró y tamizó a 250 μm . Con las muestras acondicionadas de esta forma, se pesaron 2gr de muestra para proceder su digestión

en seco, esta digestión se realizó agregando 15 mL de ácido nítrico perclórico, posteriormente se colocó en plancha de calentamiento a temperatura de 180 °C hasta que la muestra se digiera por completo, se dejó enfriar y se agregaron 40 ml de agua destilada caliente, posterior a este procedimiento se realizó el filtrado del extracto, llevando a un volumen de 50 ml para luego ser leído en el espectrofotómetro de absorción atómica sin antes realizar una previa calibración. El equipo utilizado fue EEA Perkin Elmer Analyst200, con límite de detección de 0.05 ppm y límite de cuantificación de 0.1 ppm.

Además, se realizaron análisis de caracterización en las muestras de suelo obtenidas mediante los cuales se determinaron características como pH, conductividad eléctrica y contenido de materia orgánica (presentado en porcentaje), estas características fueron medidas con el fin de determinar el grado de relación entre la concentración de cadmio encontrada y las características del sistema evaluado.

Los datos obtenidos fueron tabulados y procesados mediante análisis de varianza y una vez detectadas diferencias significativas se realizó una prueba de comparación de medias, usando para este propósito el software de uso libre Statistix v.8.0.

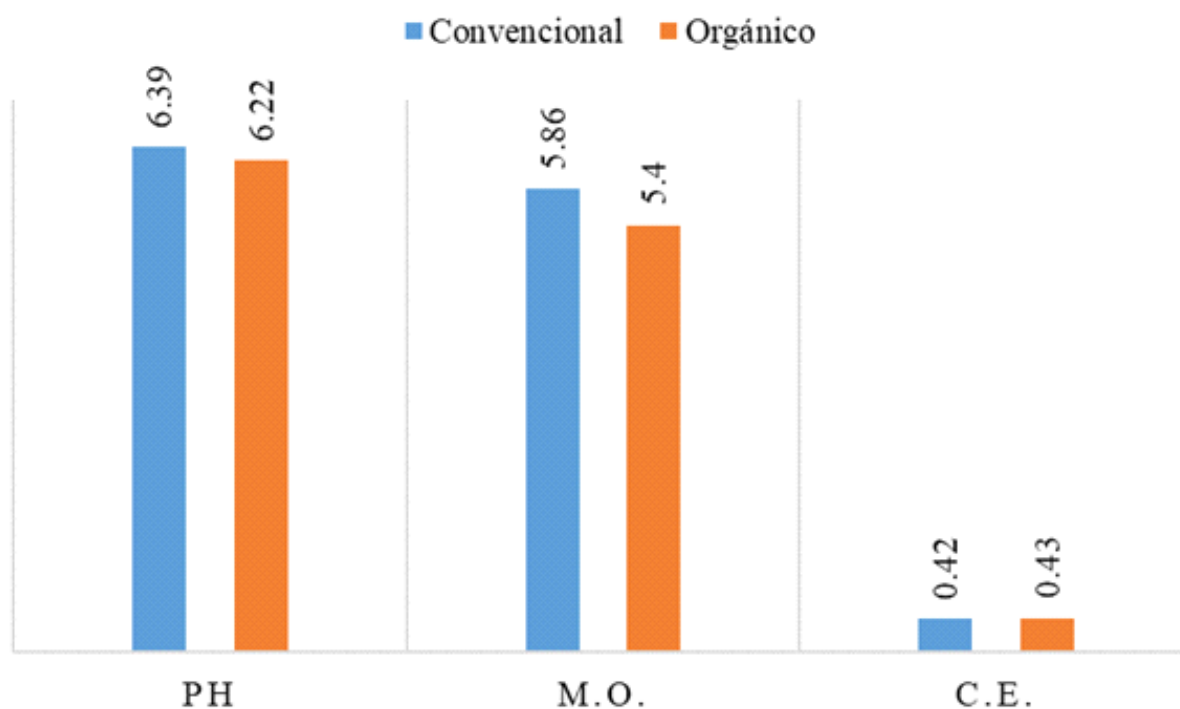


Figura 2. Principales características de los suelos según sistema de producción de café.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción de las características del suelo

Las propiedades del suelo se muestran en la figura 2 según las medias obtenidas en la evaluación con estadística descriptiva.

El pH se presenta en rangos de 4,76 a 7,16 que les dan características de ácidos a ligeramente alcalinos para el sistema de producción convencional, para el sistema de producción orgánica la acidez se ve reducida y aumenta la alcalinidad de los suelos ya que el rango de pH es de 5,09 a 7,46; sin embargo, las medias (figura 2) revelan que los suelos de esta parte de la región Amazonas en general son de carácter ligeramente ácidos, en un estudio realizados en Bagua y Condorcanqui por Arévalo *et al.*, 2016, reportan niveles de pH de 6,4 y 6,0 respectivamente, concordante con lo encontrado en el presente estudio. Además, la Unión Europea en sus directivas de Kelley, menciona que para suelos ácidos el nivel de pH de entre 6-7 evidencia que no están contaminados, y en suelos alcalinos el nivel de pH en rango de 7-8 demuestra que no están contaminados con metales pesados (Acevedo et al., 2005), en nuestro estudio ninguna de las muestras analizadas

superó los rangos establecidas por las mencionadas directivas.

Por su parte el contenido de materia orgánica presenta promedios de 5,86 % para el sistema de producción convencional y 5,4 % para el sistema orgánico. Con rangos que van desde 0,77 a 9,19% notándose la variabilidad existente, estos contenidos relativamente altos son positivos ya que disminuyen la disponibilidad de metales pesados en los suelos y mejoran la calidad de los mismos (Alloway, 2013). La conductividad eléctrica muestra niveles bajos, lo que indicaría que los suelos de este distrito no presentan problemas de salinidad, esta característica de los suelos está directamente relacionada con la disponibilidad de nutrientes, los niveles de pH y materia orgánica (Simón et al., 2013).

Concentración de cadmio en el sistema suelo, hoja y fruto y límites máximos permisibles (LMP)

La concentración de Cadmio va en orden decreciente Suelos>Hojas>Frutos con promedios de 0,65; 0,38 y 0,14 mg kg⁻¹ respectivamente en el sistema convencional y 0,72; 0,7 y 0,1 respectivamente para el sistema de producción orgánico, esta condición muestra que el café no estaría absorbiendo en gran medida el Cadmio

existente en el suelo, lo que coincide con los reportes hechos en México por (Lara et al., 2015) en cultivos de maíz, el cual reporta niveles de cadmio superiores en suelo ($0,096 \text{ mg kg}^{-1}$) que en planta ($0,06 \text{ mg kg}^{-1}$), así mismo se sabe que existen plantas con mayor y menor aptitud para la translocación de cadmio en sus tejidos, en ese sentido Ortiz et al., (2009) estudiaron la extracción de Cadmio y Plomo usando Quelite (*Amaranthus hybridus*) y micorrizas, evidenciando la actividad de extracción de estos metales pesados por parte de esta planta, que es superior a otras plantas.

Además, las plantas no poseen mecanismos específicos para el transporte de elementos no esenciales, entre ellos el Cadmio, por lo que el transporte se hace mediante los mecanismos de nutrición esenciales (Verkleig et al., 2009). Por su parte la concentración de cadmio en suelo ($0,65 \text{ mg kg}^{-1}$ para sistema convencional y $0,72 \text{ mg kg}^{-1}$ en el sistema orgánico) son superiores en relación con lo encontrado por Arévalo et al. (2016) en suelos de cacaoteros en la zona norte del Perú donde reporta $0,20 \text{ mg kg}^{-1}$ de concentración de cadmio.

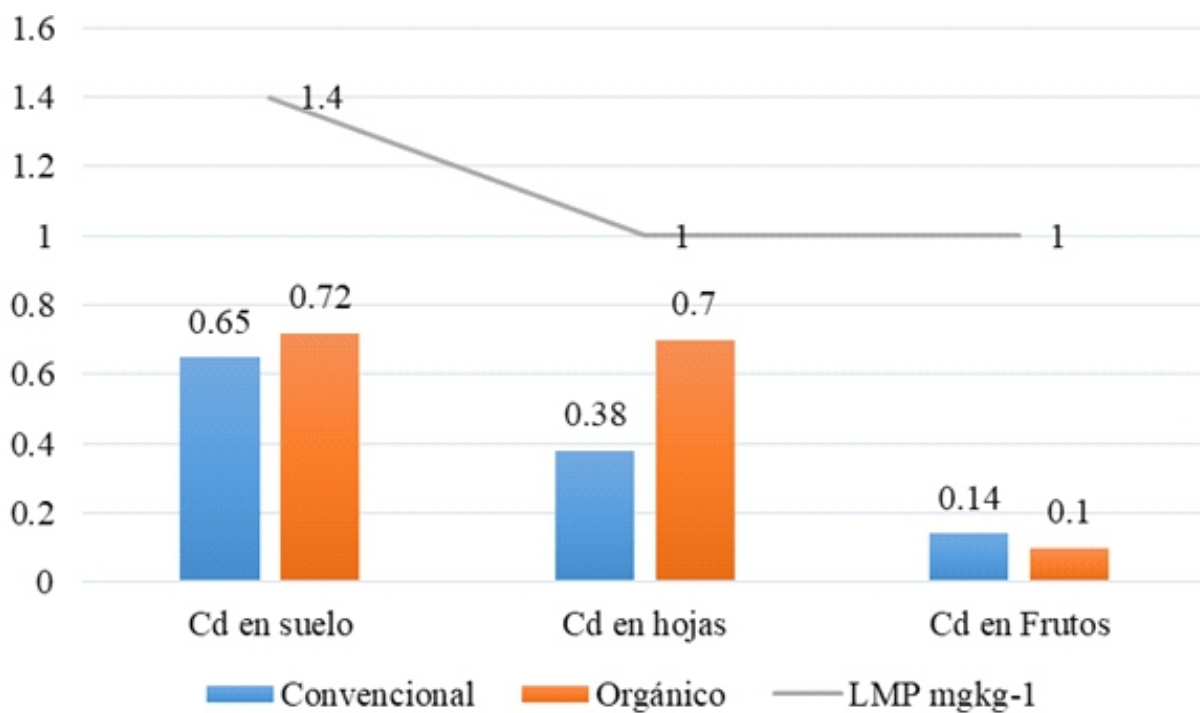


Figura 3. Concentración de Cadmio según sistema de producción y componente del sistema suelo planta.

En referencia a los límites permisibles, la concentración de Cadmio en el suelo no supera el máximo permitido según el DECRETO SUPREMO N° 002-2013-MINAM (MINAM, 2013) que establece los parámetros de calidad ambiental, donde se establece un máximo de $1,14 \text{ mg kg}^{-1}$ de cadmio total en suelos agrícolas, valor superior a lo reportado por los análisis realizados en este estudio, este reporte contrasta con lo encontrado por (Arévalo et al., 2016) para la región Amazonas, $0,11 \text{ mg kg}^{-1}$ para la provincia de Bagua y $0,01 \text{ mg kg}^{-1}$ para la provincia de Condorcanqui. Por su parte el contenido de Cadmio en hojas y frutos es muy bajo con respecto al límite máximo ya que la Unión Europea establece 1 mg kg^{-1} como máxima concentración per-

misible de Cadmio (Unión Europea, 2017) y nuestro estudio reporta niveles máximos de $0,7 \text{ mg kg}^{-1}$ presentados en hojas en el sistema de producción orgánica, así mismo este sistema reporta $0,1 \text{ mg kg}^{-1}$ de cadmio en frutos frescos. La legislación de Holanda, Estados Unidos y Chile dan LMP de entre $1-20 \text{ mg kg}^{-1}$ de cadmio para suelos agrícolas (Acevedo et al., 2005), en este estudio el promedio de concentración de cadmio no superó estos niveles de concentración en ninguno de los sistemas evaluados.

Así mismo la tabla 1 evidencia la inexistencia de diferencias significativas, es decir la concentración de Cadmio en el sistema suelo planta es estadísticamente

Tabla 1. Análisis de varianza de la concentración de Cadmio en Suelo, Hojas y Frutos en plantaciones de café según sistemas de producción.

Componente	Análisis de Varianza		Incidencia	
	F	P	Mayor	Menor
Suelo	0.42	0.52	Iguales	
Hojas	1.56	0.22	Iguales	
Frutos	1.22	0.28	Iguales	

igual en los sistemas convencionales y en los sistemas orgánicos. Sin embargo la figura 3 nos permite observar que en las hojas del café se contienen menores concentraciones de cadmio en el sistema convencional mientras que el sistema orgánico contiene mayores niveles de Cadmio en las hojas, esta condición indicaría que el sistema de producción no está teniendo mayor impacto en el aumento o disminución del ion cadmio en los suelos del distrito de Omia en donde se produce el café, además se podría deducir que la actividad antrópica no representa una fuente importante

Tabla 2. Correlación entre las variables estudiadas

	Cd Fruto	Cd Hojas	Cd Suelo	C.E.	M.O.	Sistema
Cd Hoja	-0.14					
Cd Suelo	-0.05	-0.31				
C.E.	-0.10	-0.18	0.50			
M.O.	-0.30	-0.30	0.60	0.68		
Sistema	-0.23	0.26	0.14	0.04	-0.09	
pH	0.17	-0.16	0.45	0.71	0.38	-0.11

CONCLUSIÓN

El pH de los suelos de la provincia de Rodríguez de Mendoza, específicamente el distrito de Omia, presenta características de ácido a ligeramente alcalinos siendo estos suelos aptos para la agricultura, además estos niveles de pH favorecen la disponibilidad de elementos para las plantas, entre ellos los metales pesados.

El contenido de materia orgánica de los suelos muestra un amplio rango de variabilidad, desde suelos muy pobres en materia orgánica hasta suelos muy ricos, sin embargo, en promedio los suelos de esta parte de la región son ricos en este componente.

de Cadmio en los suelos ya que las concentraciones encontradas son mínimas (0,1 mg de cadmio por kg de frutos) lo que daría evidencia de que el Cadmio sería de origen geoquímico, ya que el Cadmio es uno de los elementos traza presentes de forma natural en los suelos que se degradan debido a la intemperización del material parental (Wang et al., 2015).

Correlación de la concentración de cadmio y características del suelo

El contenido de Cadmio en el suelo mostró correlación significativa y positiva con el contenido de materia orgánica ($r: 0,6$) y con el pH ($r: 0,45$), estos resultados coinciden con lo reportado por Arévalo et al. (2016) que reporta una correlación positiva y significativa por Cadmio y pH ($r: 0,33$), esto tiene sentido ya que la movilidad de disponibilidad de cadmio se ve afectada principalmente por el pH (Alloway, 2013), por otro lado la correlación entre el contenido de Cadmio en los frutos del Café no es débil y negativa ($r: 0,05$) con la concentración de Cadmio en el suelo (tabla 2).

Con respecto a la concentración de Cadmio en los suelos esta no superó los niveles máximos permitidos por la legislación nacional y por la Unión Europea, además se observó que el café no transporta de forma eficiente este elemento ya que las concentraciones de Cadmio disminuyeron en hojas y frutos con respecto a la concentración encontrada en los suelos.

Así mismo se demostró que en el distrito de Omia el sistema de manejo del cultivo de café, ya sea orgánico o convencional, no está relacionado con la concentración de Cadmio encontrada. Sin embargo, características de los suelos como el pH y el contenido de materia orgánica están relacionados a la presencia del Cadmio en el sistema suelo planta en cultivos de café.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, E., Carasco, M., León, O., Silva, P., Castillo, G., Ahumada, I., . . . Gonzáles, S. (2005). *Informe de criterios de calidad de suelo agrícola*. Chile: SAG.
- Ali, M. H., & Al-Qahtani, K. (2012). Assessment of some heavy metals in vegetables, cereals and fruits in Saudi Arabian markets. *Egyptian Journal of Aquatic Research*(38), 31-37.
- Alloway, B. J. (2013). *Heavy metals in Soils: Trace Metals and Metallloids in Soils and their Bioavailability* (3ra ed.). Springer.
- Arevalo, E., Obando, M. E., Zúñiga, L. B., Arévalo, C. O., Baligar, V., & He, Z. (2016). Metales Pesados En Suelos De Plantaciones De Cacao (Theobroma cacao L.) En Tres Regiones Del Perú. *Ecología Aplicada*, 16(2), 81-89. doi:http://dx.doi.org/10.21704/rea.v15i2.747
- Bonomelli, C., Bonilla, C., & Valenzuela, A. (2003). Efecto de la fertilización fosforada sobre el contenido de cadmio en cuatro suelos de Chile. *Pesq. agropec. bras.*, 38(10), 1179-1186.
- Chen, Y., Hu, W., Huang, B., Weindorf, D. C., Rajan, N., Liu, X., & Niedermann, S. (2013). Accumulation and health risk of heavy metals in vegetables from harmless and organic vegetable production systems of China. *Ecotoxicology and Environmental Safety* (9 8) , 3 2 4 - 3 3 0 . doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.09.037
- Cheraghi, M., Lorestani, B., Merrikhpour, H., & Rouniasi, N. (2013). Heavy metal risk assessment for potatoes grown in overused phosphate-fertilized soils. *Environ Monit Assess*(185), 1825-1831. doi:DOI 10.1007/s10661-012-2670-5
- Dixit, R., Wasiullah, Malaviya, D., Pandiyan, K., Singh, U. B., Sahu, A., . . . Paul, D. (2015). Bioremediation of Heavy Metals from Soil and Aquatic Environment: An Overview of Principles and Criteria of Fundamental Processes. *Sustainability*, 7(2), 2189-2212. doi:doi:10.3390/su7022189
- Grytsyuk, N., Arapis, G., Perepelyatnikova, L., Ivanova, T., & Vynograds'ka, V. (2006). Heavy metals effects on forage crops yields and estimation of elements accumulation in plants as affected by soil. *Science of The Total Environment*, 354(2-3), 224-231. doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.01.007
- Huang, Y., Li, T., Wu, C., He, Z., Japenga, J., Deng, M., & Yang, X. (2015). An integrated approach to assess heavy metal source apportionment in peri-urban agricultural soils. *Journal of Hazardous Materials*, 299, 540-549. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.07.041
- Khan, A., Khan, S., Khan, M. A., & Qamar, Z. (2015). The uptake and bioaccumulation of heavy metals by food plants on plant nutrients, and associated health risk: a review. *Environmental Science Pollution*(22), 13772- 13799. doi:10.1007/s11356-015-4881-0
- Lara, F. M., Ventura, A., Ehsan, M., Rodríguez, A., Vargas, J., & Landero, N. (2015). Contenido De Cd Y Pb En Suelo Y Plantas De Diferentes Cultivos Irrigados Con Aguas Residuales En El Valle Del Mezquitil, Hidalgo, México. *Rev. Int. Contam. Ambie.*, 31(2), 127-132.
- MINAM. (25 de Marzo de 2013). Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. *El Peruano*.
- Ortiz, H. G., Trejo, R., Valdez, R. D., Arreola, J. G., Flores, A., & López, B. (2009). Fitoextrac-

- ción De Plomo Y Cadmio En Suelos Contaminados Usando Quelite (*Amaranthus hybridus* L.) Y Micorrizas. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 15(2), 161-168.
- Reyes, Y. c., Vergarsa , I., Torres, O. E., Días, M., & Gonzáles, E. E. (2016). Contaminación Por Metales Pesados: Implicaciones En Salud, Ambiente Y Seguridad Alimentaria. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16(2), 66-77.
- Senior, W., Valarezo, C., Sánchez , O., Johnny, T., Yaguachi, A., Rodriguez, G., . . . Marquez, A. (2016). Evaluación De La Distribución Del Contenido Total Y Biodisponibles De Los Metales Pesados, Cu, Cd, Pb Y Hg En Sedimentos Superficiales Del Estero De Santa Rosa, Provincia De El Oro, Ecuador. *Open Science Framework*. doi:10.17605/OSF.IO/KNSYZ
- Sifuentes, E., Albuja, E., Contreras, S., León, C., Moreyra, J. C., & Santa María, J. (2017). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola y Ganadera 2016*. Lima: SEIA.
- Simón, M., Peralta, N., & Costa, J. L. (2013). Relación Entre La Conductividad Eléctrica Aparente Con Propiedades Del Suelo Y Nutrientes. *Ciencia del suelo*, 31(1), 45-55.
- Tudela, J. W. (2015). Caracterización socioeconómica y ambiental de l a producción de café orgánico en el Perú. *Rev. Investig. Altoandin.*, 17(1), 23-32.
- Union Europea. (Marzo de 2017). *Metales pesados. Obtenido de Metales Pesados: <http://plaguicidas.comercio.es/MetalPesa.pdf>*
- Verkleig, A. C., Golan, A., Antosiewicz, D. M., Schwitzguébel, J., & Schröder, P. (2009). Dualities in plant tolerance to pollutants and their uptake and translocation to the upper plant parts. *Environ. Exp. Bot.*(67), 10-22.
- Wang, Q., Xie , Z., & Li, F. (2015). Using ensemble models to identify and apportion heavy metal pollution sources in agricultural soils on a local scale. *Environmental Pollution*, 206, 227-235.