

Efecto de compost y NPK sobre los niveles de microorganismos y cadmio en suelo y almendra de cacao

Effect of compost and NPK on the levels of microorganisms and cadmium in soil and almond of cocoa

Nelino Florida Rofner^{1*} , Hildauro Juan, Paucar García¹, Santos Severino Jacobo Salinas², Fortunato Escobar Mamani³  & Jaime Torres García¹

¹ Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Aguas, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú

² Escuela Profesional de Ciencias Agrícolas, Universidad Nacional Hermilio Valdizan, Huánuco, Perú

³ Escuela de Posgrado, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú

*Autor para correspondencia e-mail: nelinof@hotmail.com

Nelino Florida Rofner  <https://orcid.org/0000-0002-8751-4367>

Fortunato Escobar Mamani  <https://orcid.org/0000-0002-3922-4621>

ARTÍCULO ORIGINAL

INFORMACIÓN DE ARTÍCULO

Artículo recibido: 15/02/2019

Artículo aceptado: 23/10/2019

En línea: 25/10/2019

PALABRAS CLAVE:

Cacao CCN-51,
Cadmio disponible,
Cadmio en almendras,
Compost,
NPK,
Microorganismos

RESUMEN

El cacao (*Theobroma Cacao* L.) es un cultivo importante para Perú; los reportes de elevados contenidos de cadmio (Cd^{2+}) causan problemas al sector. Sin embargo, las investigaciones destacan que el manejo orgánico mejora la actividad microbiológica del suelo y la absorción del cadmio en almendras. Por ello, se evaluó el efecto del compost y NPK en diferentes grupos microbianos del suelo y el Cd disponible en suelos y granos de cacao CCN-51. Se utilizó un diseño de bloque completamente aleatorizado, con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones, donde: T1 testigo, T2 compost (3 000 kg. ha⁻¹), T3 NPK (84-35-161) y T4: compost (1 500 kg. ha⁻¹) más NPK (42-18-80). Se evaluó a través de la técnica de recuento en placa con diluciones seriadas (10^3) la población de aerobios viables, actinomicetos, fungi y fijadores de nitrógeno. El Cd disponible con EDTA 0,05 M y en almendras por digestión ácida Nítrico perclórico 4:1. La población de aerobias viables fue de 10^4 UFC/g, actinomicetos 10^4 a 10^5 , los fungi y fijadores de nitrógeno 10^3 UFC/g; el Cd en el suelo varía de 0,17 a 0,25 $\mu\text{g. g}^{-1}$ y en almendras de 0,31 a 0,43 $\mu\text{g. g}^{-1}$. No se encontró diferencias ($p < 0,05$) entre tratamientos y los diferentes grupos microbianos, excepto Cd^{2+} en almendras. Se concluye que el compost mostró potencial para reducir el Cd en almendras de cacao.

ORIGINAL ARTICLE

ARTICLE INFORMATION

Article received: 15/02/2019

Article accepted: 23/10/2019

On line: 25/10/2019

KEYWORDS:

Cocoa CCN-51,
Available cadmium,
Cadmium in almonds,
Compost,
NPK,
Microorganisms

ABSTRACT

Cocoa (*Theobroma cacao* L.) is an important crop for Peru; reports of high cadmium content (Cd^{2+}) cause problems for the sector. However, research highlights that organic management improves the microbiological activity of the soil and the absorption of cadmium in almonds. Therefore, the effect of compost and NPK in different soil microbial groups and the available Cd in soils and cocoa beans CCN-51 was evaluated. A completely randomized block design was used, with four treatments and four repetitions, where: T1 control, T2 compost (3 000 kg. ha⁻¹), T3 NPK (84-35-161) and T4: compost (1 500 kg. ha⁻¹) plus NPK (42-18-80). The population of viable aerobes, actinomycetes, fungi and nitrogen fixers were evaluated using the plate count technique with serial dilutions (10^3). The Cd available with 0.05 M EDTA and in almonds by 4: 1 perchloric nitric acid digestion. The population of viable aerobes was 10^4 UFC / g, actinomycetes 10^4 to 10^5 , fungi and nitrogen fixers 10^3 UFC/g; the Cd in the soil varies from 0.17 to 0.25 $\mu\text{g. g}^{-1}$ and in almonds from 0.31 to 0.43 $\mu\text{g. g}^{-1}$. No differences ($p < 0.05$) were found between treatments and the different microbial groups, except Cd^{2+} in almonds. It is concluded that the compost showed potential to reduce the Cd in cocoa almonds.

INTRODUCCIÓN

En nuestro país el cultivo de cacao (*Theobroma Cacao* L.) presenta un aumento promedio anual de 15,6 %, de manera que al 2018 alcanzó una extensión de 199 mil hectáreas con un rendimiento medio 720 kg. ha⁻¹ (MINAGRI, 2019), por encima del promedio mundial 485 kg. ha⁻¹ (MINAGRI, 2016). Sin embargo, se reportan altos niveles de Cd²⁺ en almendras que ponen en riesgo su calidad y posibilidades de comercialización. (Florida et al., 2018; Lanza et al., 2016; Arévalo et al 2014; Huamani et al., 2012).

El cadmio (Cd), es considerado un metal pesado que se libera al ambiente como resultado de una gran variedad de actividades antrópicas, entre ellas las actividades agrícolas e industriales; no obstante, que no es un elemento esencial para las plantas, este metal se absorbe por las raíces y se transporta hacia las diferentes partes de la planta. Por lo que, altas concentraciones de éste ocasionan toxicidad en las plantas por su alta movilidad (Casteblanco, 2018; Labra et al., 2012).

Las investigaciones destacan la importancia de la actividad microbiológica a través del número, la actividad, y la diversidad en los sistemas con cacao (Arévalo et al., 2014; Huauya y Huamaní, 2014) que están relacionadas con procesos bioquímicos; son probablemente los componentes más importantes de la calidad del suelo, donde la sostenibilidad de la producción, la calidad del medio ambiente, la sanidad vegetal y animal están estrechamente relacionados con el ciclo biológico (Arévalo et al., 2014; He et al., 2003). Sin embargo, hay resultados contradictorios sobre el efecto de los microorganismos del suelo (bacterias, levaduras y otros hongos, incluidos los hongos micorrícicos arbusculares) en la absorción de cadmio por las plantas, esto debido a la variedad de organismos bajo consideración y sus interacciones dentro del suelo (Meter et al., 2019)

En este sentido, al uso de enmiendas orgánicas se le atribuye múltiples beneficios (Abreu et al., 2018; Cortes et al., 2016; Orozco et al., 2016; Firme et al., 2014), contrario al uso de fertilizantes formulados como el NPK, que pueden impactar sobre los microorganismos que se encargan de fijar nitrógeno, solubilizar fósforo, formar micorrizas, descomponer la materia orgánica y segregar otras sustancias importantes para el crecimiento vegetal (Abreu et al., 2018; Zapana, Mamani, Escobar-Mamani, & Zapana, 2017; Orozco et al., 2016; Chaves et al., 2013; López et al., 2007).

Además, la capacidad de un cultivo de resistir o tolerar el ataque de insectos plaga y enfermedades está ligada a las propiedades físicas, químicas y particularmente biológicas del suelo (Orozco et al., 2016; Arévalo et al., 2014). Suelos con alto contenido de materia orgánica y una alta actividad biológica generalmente exhiben buena fertilidad, así como cadenas tróficas complejas y organismos benéficos abundantes que previenen la infección de los cultivos (Altieri y Nichols, 2008). En este contexto, la investigación planteó como objetivo, evaluar el efecto del compost y NPK en la población de grupos microbianos y en los niveles de cadmio en suelos y almendras de cacao CCN-51 (*Theobroma cacao* L.).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El proyecto se desarrolló en las instalaciones del fundo Florida & Cárdenas, entre los meses de enero a diciembre del 2018. Se ubica en la localidad de Nuevo Progreso, distrito y provincia Padre Abad, región Ucayali - Perú. Las condiciones climáticas en donde se desarrolló este proyecto, presentan una precipitación anual promedio de 2 500 mm y 26,5 °C, con régimen bimodal; las mayores precipitaciones se producen entre septiembre - abril y las mínimas entre mayo-agosto. Padre Abad, se encuentra entre las ecorregiones Omagua o selva baja y Rupa Rupa o selva alta, según la clasificación de Pulgar (2014).

Sobre el área experimental

Corresponde a una plantación de cacao criollo injertado con yemas del clon CCN-51, de cuatro años de instalación, el distanciamiento entre filas y plantas es de 3 m, el terreno presenta una pendiente suave de 2-4 % aproximadamente de terraza media no inundable cuyo suelo al inicio del experimento presentó baja fertilidad y alta saturación de aluminio (Tabla 02). Las unidades experimentales son de 9 x 6 m, incluyen 6 plantas de cacao y un área de 54 m² hacen un total de 1 287 m².

Aplicación de los abonos

Se efectuó según el análisis del suelo (Tabla 1), la cantidad indicada de compost según ficha técnica. El NPK se utilizó bajo la forma de urea, superfosfato triple y cloruro de potasio en dosis 84-35-161. El cálculo fue en base al nivel medio de NPK fijado por DS 017-2009-AG (Reglamento de clasificación de suelos por capacidad de uso mayor para Perú), el nivel de referencia fue de 0,15%, para N, 16 µg g⁻¹ de P y 120 µg g⁻¹ para K. La aplicación se realizó en contorno a la altura de copa en tres momentos: enero, mayo y setiembre.

Tabla 1

Aplicación del compost y NPK

Tratamiento	Compost Kg/ha	Compost kg/planta	N g/planta	P g/planta	K g/planta
T1	0	0	0	0	0
T2	3 000	2,7	0	0	0
T3	0	0	164,36	156,3	289,9
T4	1 500	1,35	82,15	78,15	144,95

T1=Tratamiento control, T2=Compost, T3=NPK, T4= Compost + NPK.
N=Nitrógeno, P= Fosforo y K=Potasio

Muestreo y análisis

En cada tratamiento y repetición se extrajo 5 sub muestras a 0.2 m de profundidad por unidad experimental, obteniéndose una muestra compuesta de suelo. Además, de las 6 planta por unidad experimental se tomó 2 mazorcas al azar de la parte intermedia del árbol en estado de madurez, esto de manera uniforme para todas las plantas seleccionadas, sometiendo a fermentación (de 6-7 días), secado (8-12 % de humedad) y etiquetado para ser derivado al Laboratorio de investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva-UNAS. Donde, para cadmio disponible del suelo se utilizó como extractante EDTA 0.05 M, y en almendras por digestión acida Nítrico Perclórico 4:1 siguiendo la metodología de Mite (2010), las lecturas se realizaron en Espectro de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente ICP OES (HORIBA, Ultima Expert).

El muestreo de suelo para análisis microbiológico consistió en extraer a la altura de copa en cada planta

seleccionada, una muestra simple (sub muestra). Lo cual posteriormente se mezcló con las muestras de los puntos sucesivos (6), formando una muestra compuesta por cada unidad experimental (16 en total), lo cual se llevó para su análisis en el laboratorio de microbiología de la UNAS; de esta muestra compuesta se secó y se realizó la caracterización microbiológica a partir del proceso de diluciones seriadas según la metodología de Baldani (2007) y Salazar et al. (2014), para el aislamiento se tomaron 10 g de suelo en 90 ml de agua peptonada (AP) 0,1 %, a partir de esta dilución inicial se preparan diluciones sucesivas tomando cada vez un mililitro de solución y adicionando 10 ml de AP hasta alcanzar la dilución deseada. En este caso se midió en diluciones 10⁻³ la población de: Aerobios viables (plate count + manitol 1 %), Actinomicetos (agar actinomyces + glicerina), Fungi, mohos y levaduras (agar sabouraud glucosado 4 % + ceftriaxona) y la población de fijadores de nitrógeno con agar osha.

Análisis estadístico

La investigación utilizó un diseño de bloques completamente aleatorizado DBCA con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones, donde T1: tratamiento control, T2: compost a razón de 3 000 Kg. ha⁻¹, T3: NPK en dosis de 84-35-161, y T4 compost a razón de 1500 kg. ha⁻¹ + NPK 42-18-80. Los datos se sometieron a la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y Shapiro-Francia a una distribución normal al 5 %.

Comprobada la normalidad se realizó el análisis de varianza (Tabla 3) y la correlación entre los tratamientos y las variables evaluadas: Aerobios viables, fungi, actinomicetos y fijadores de nitrógeno y el contenido de cadmio en suelos y almendras. El trabajo utilizó los programas IBM SPSS 25 y Stata 15, licencias amparadas por la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Tabla 2

Caracterización del área experimental

Indicador	Suelo del cacao
pH	4,24
MO %	1,97
N %	0,09
P µg. g ⁻¹	6,54
K µg. g ⁻¹	62,47
Ca Cmol. Kg ⁻¹	4,46
Mg Cmol. Kg ⁻¹	0,65
Al Cmol. Kg ⁻¹	4,4
CIC Cmol. Kg ⁻¹	9,15
AC %	50,9
BC %	49,1

RESULTADOS

La Tabla 02, muestra el análisis de caracterización realizada al área experimental al inicio del proyecto, presenta baja fertilidad y alta concentración de aluminio

La Tabla 3, muestran la población media de los diferentes grupos microbianos evaluados y son equivalentes a una

población de bacterias aerobias viables de 10⁴ UFC/g, la población media de actinomicetos se encuentra en un rango de 10⁴ a 10⁵, los fungi y los fijadores de nitrógeno con una media de 10³ UFC/g de suelo, en ningún caso de las variables microbiológicas se observa diferencias significativas (p<0,05). Sin embargo, en las variables cadmio, se encontró diferencias significativas para cadmio en almendras.

Tabla 3

Promedio de los diferentes indicadores del suelo según tratamiento, con un nivel de confianza del 95%

Indicadores	Tratamientos				Significancia Tratamiento
	T1	T2	T3	T4	
Aerobios Viables	41250±11191	51500±2229	48500±2815	45250±23570	0,9888
Actinomicetos	65250±1815	106000±3308	60000±2181	68500±1154	0,4693
Fungi	2500±646	3000±1414	2500±957	2500±646	0,9741
Fijadores de nitrógeno	2000	3333±882	1250±250	1750±479	0,163
Cd suelo µg g ⁻¹	0,23±0,07	0,25±0,08	0,17±0,05	0,22±0,09	0,481
Cd Almendras µg g ⁻¹	0,31±0,01 ^a	0,36±0,01 ^{ab}	0,43±0,08 ^b	0,39±0,08 ^{ab}	0,046*

T1=Tratamiento control, T2=Compost, T3=NPK, T4= Compost + NPK. Las medias seguidas de letras diferentes difieren entre sí por la prueba de Duncan, p <0.05. * presentan diferencias significativas (p<0.05).

En el análisis de correlación bilateral de Pearson (Tabla 4) no se encontró correlación significativa entre los tratamientos y las variables microbiológicas, excepto para el contenido de cadmio en almendras

de cacao, tampoco se encontró correlación entre las variables microbiológicas y el cadmio en suelo y almendras de cacao.

Tabla 4

Correlación bilateral entre los tratamientos y las variables evaluadas

Correlaciones		Tratamiento	Aerobios V	Actinomicetos	Fungi	Fijadores N	Cd suelo	Cd almendra
Tratamiento	Correlación de Pearson	1	-,060	-,038	-,023	,087	-,213	,554*
	Sig. (bilateral)		,825	,889	,933	,748	,428	,026
	N	16	16	16	16	16	16	16
Aerobios V	Correlación de Pearson		1	,729**	,763**	,687**	,244	-,080
	Sig. (bilateral)			,001	,001	,003	,363	,770
	N		16	16	16	16	16	16
Actinomicetos	Correlación de Pearson			1	,800**	,903**	,066	-,126
	Sig. (bilateral)				,000	,000	,808	,643
	N			16	16	16	16	16
Fungi	Correlación de Pearson				1	,659**	,143	-,010
	Sig. (bilateral)					,005	,597	,970
	N				16	16	16	16
Fijadores N	Correlación de Pearson					1	,027	,006
	Sig. (bilateral)						,920	,983
	N					16	16	16
Cd suelo	Correlación de Pearson						1	-,284
	Sig. (bilateral)							,287
	N						16	16

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral). **. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

DISCUSIÓN

Grupos microbianos

Los resultados medios del recuento en placa (Tabla 3) muestran una población de bacterias aerobias viables de 10^4 UFC/g, la población media de actinomicetos se encuentra en un rango de 10^4 a 10^5 , los fungi y los fijadores de nitrógeno con una media de 10^3 UFC/g de suelo, son valores bajos ya que el número de bacterias presentes en un gramo de suelo varía de 10^8 a 10^{10} , los actinomicetos de 10^6 a 10^8 , los fungi de 10^3 a 10^5 , estas variaciones es debido a las grandes diferencias que existen entre los suelos (Otero, 2011; González, 2010; Coyne, 2000).

Evidentemente, los resultados del trabajo se encuentran por debajo de esta cifra; sin embargo, algunas investigaciones en el caso de bacterias aerobias reportan valores similares, entre ellos, Huansi (2011), en bosque sin prácticas agronómicas encontró una media de 10^5 . También, Pahuara y Zúñiga (2001) encontró que las poblaciones de bacterias mesófilas oscilaron de 10^5 a 10^7 UFC/g. Otero (2011) reportan valores más altos, 10^7 UFC/g de bacterias totales del suelo y Argüello y Moreno (2014) en suelos ácidos con cacao encontraron 4×10^6 bacterias/g, para suelos de pH 5.42. condiciones muy parecidas con nuestro trabajo.

La población media de actinomicetos (Tabla 3) concuerda con Salazar *et al.* (2014) encontraron, en *Rev. Investig. Altoandín. 2019; Vol 21 Nro 4 264 - 273*

bosques secundarios poco intervenido, 5×10^6 UFC/g suelo. También, Argüello y Moreno (2014) en suelos ácidos con cacao encontraron 10^5 actinomicetos/g, para suelos ácidos. Estos microorganismos, son importantes saprófitos de plantas, capaces de degradar moléculas complejas y sustancias recalcitrantes como celulosa, lignocelulosa, xilano y lignina y solubilizar fosfatos (González, 2010); además, sintetizar auxinas, promotor de crecimiento de raíces que mejoran la absorción de agua y minerales (Soriano B y Soriano E, 2010). Sin embargo, en suelos con un pH inferior a 5.0, pueden encontrarse en raras ocasiones (Otero, 2011); esto explicaría la población relativamente baja encontrada, pues los suelos del área experimental tienen un pH de 4.24 (fuertemente ácido) y textura franco arenoso, este último contrarresta la acidez, generando condiciones para el desarrollo de estos microorganismos debido a la aireación y poca capacidad para retener agua (González, 2010).

La población de fungi (Tabla 3) es de 10^3 , considerado como baja, los fungi se encuentran ubicados en el tercer lugar con $10^5 - 10^6$ UFC/g de suelo (Otero, 2011; Coyne, 2000), valor superior a nuestros resultados. Sin embargo, similares resultados son reportados por Argüello y Moreno (2014) en suelos ácidos con cacao encontraron poblaciones de 10^4 UFC/g; también, Pahuara y Zúñiga (2001) encontró una población media de fungi que varía entre 10^4 a 10^6 UFC/g. sin embargo, OTERO (2011) en su trabajo, los recuentos obtenidos para fungi filamentosos se encuentran en concentración de 10^6 UFC/g de suelo, muy superior a lo encontrado en esta investigación.

Los resultados de fijadores de nitrógeno (Tabla 3) muestran una población media de 10^3 . Su población es reducida, así lo muestra Pahuara y Zúñiga (2001) encontró poblaciones de fijadores de nitrógeno que varían entre 10 000 a 40 000 UFC/g. sin embargo, a pesar de encontrarse en números muy bajos en los suelos son muy importantes, pues para OTERO (2011) son capaces de fijar nitrógeno molecular, formar ATP y producir vitaminas y otras moléculas orgánicas. Lo que se traduce en una mejora en general de cualquier tipo de cultivo.

En general las evaluaciones microbiológicas no presentan diferencias significativas (Tabla 3) y muestran promedios bajos para los diferentes grupos. Según, Otero (2011); González (2010); Mora (2006); Coyne (2000) la abundancia, actividad y clase de microorganismo, depende del contenido de materia orgánica, textura del suelo, pH, temperatura, aireación, entre otros factores. Por lo tanto, los valores encontrados se explican teniendo en cuenta el tipo de suelo que presenta el área experimental (Tabla 2). Además, contrasta con lo señalado por Meter et al. (2019) que los resultados contradictorios sobre el efecto de los microorganismos del suelo en la absorción de cadmio por las plantas, se debe a la variedad de organismos bajo consideración y sus interacciones dentro del suelo.

Efecto de los tratamientos

No se encontró diferencias ($p < 0,05$) entre los tratamientos y las diferentes variables evaluadas, excepto Cd^{2+} en almendras. Sin embargo, las medias (Tabla 3), muestra al T2 (compost) como el mejor tratamiento respecto al testigo, pues se puede apreciar las medias más altas (Tabla 3) en todos los grupos microbianos evaluados; además, las medias para Cd^{2+} en almendras muestran al T2 (compost) y T4 (combinación de 50 % de compost + 50 % de NPK), como los mejores tratamientos respecto del control, presentan el mayor efecto en la reducción de la absorción del Cd^{2+} en almendras de cacao.

El tratamiento T3 (NPK) mostro la media más baja en los diferentes grupos microbianos (Tabla 3), este resultado puede explicarse ya que los fertilizantes químicos pueden causar empobrecimiento de las características biológicas del suelo, afectando a microorganismos que favorecen la nutrición de las plantas como los hongos micorrícicos que incrementan la disponibilidad del fósforo (Abreu et al., 2018; López et al., 2007) y en general pueden impactar de diferente manera sobre los microorganismos que se encargan de la descomposición de la materia orgánica (Chaves et al., 2013). Además, los fertilizantes químicos pueden ocasionar aumento de la compactación y disminución de materia orgánica

(Orozco et al., 2016), esto puede afectar las condiciones adecuadas de oxígeno, humedad y carbono necesario para la actividad microbiana.

El T2 (compost) presentó mejor respuesta sobre los diferentes grupos microbianos, este comportamiento se debe a que la aplicación de fertilizantes orgánicos posee ventajas, ya que se pueden mejorar las propiedades químicas, físicas y estimular la actividad biológica (Abreu et al., 2018; Orozco et al., 2016; López et al., 2007). Esta capacidad de las enmiendas orgánicas se debe a la presencia de ácidos húmicos que incrementa los sitios de intercambio y disminuye los factores de movilidad de los metales como el Cd (Cortes et al., 2016). La materia orgánica tiene efecto significativo en la movilidad del Cd^{2+} , previniendo la contaminación de aguas subterráneas y la toxicidad por bioacumulación (Bravo et al., 2014), formando enlaces fuertes en sus grupos carboxílicos y fenólicos, con mayor capacidad y fuerza de retención movilizan el metal por fenómenos de complejación y solubilización (Firme et al., 2014)

Por lo tanto, de acuerdo a lo señalado por Abreu et al. (2018); Orozco et al. (2016); López et al. (2007) que la aplicación de enmiendas orgánicas mejora la calidad biológica del suelo y lo señalado por Cortes et al. (2016); Bravo et al. (2014); Firme et al. (2014), que el uso del suelo con un manejo adecuado que incluya suministro de nutrientes, disminuye el riesgo de contaminación por Cd^{2+} en períodos cortos. Condición que se habrían creado con la aplicación de los tratamientos. Por ello, el T2 y T4, presentan los resultados más favorables sobre la población microbiana y los menores niveles de Cd en almendras.

Cadmio en suelos y almendras

Los resultados de Cd^{2+} en suelos (Tabla 3) varían de 0,17 a 0,25 $\mu\text{g. g}^{-1}$, encontrándose por debajo de lo establecido por USEPA (2002), estableció como nivel crítico en 0,43 $\mu\text{g. g}^{-1}$ de Cd^{2+} y es un suelo no contaminado según la UE (Acevedo et al., 2005) que estableció un rango de 0 a 1 $\mu\text{g. g}^{-1}$. Los niveles medios de Cd^{2+} en almendras varían de 0,31 a 0,43 $\mu\text{g. g}^{-1}$, son niveles

bajos al no superan los límites de la UE, que establece como contenido máximo de Cd^{2+} en almendras de 0,80 $\mu\text{g. g}^{-1}$ (Jiménez, 2015). Además, los niveles de cadmio en almendras son menores a los resultados encontrados por diferentes autores en diferentes regiones del Perú y otros países (Florida et al., 2018; Tantalean y Huauya, 2017; Sánchez y Rengifo, 2017; Lanza et al., 2016; Chávez et al., 2015), con excepción de los resultados de Arévalo et al. (2016); Sofia y Pablo (2013), que reportan valores medios menores a esta investigación.

Correlación de variables

No se encontró correlación significativa (Tabla 4) entre los tratamientos y los diferentes grupos microbianos evaluados, con excepción Cd^{2+} en almendras, considerando los beneficios de la incorporación de enmiendas orgánicas (Abreu et al., 2018; Cortes et al., 2016; Orozco et al., 2016; Firme et al., 2014), se esperaba tener una correlación significativa con las variables microbianas, posiblemente la calidad baja de los suelos en estudio influyó considerablemente. Sin embargo, se encontró correlación significativa entre los tratamientos y el Cd^{2+} en almendras, es un resultado coherente con las referencias citadas, pues el uso de enmiendas orgánicas disminuye el riesgo de contaminación por Cd^{2+} (Cortes et al., 2016; Bravo et al., 2014; Firme et al., 2014),

CONCLUSIONES

No se encontró diferencias ($p < 0,05$) entre los tratamientos y las diferentes variables evaluadas, excepto Cd en almendras. Las medias muestran al T2 (compost) como el mejor tratamiento en todos los grupos microbianos evaluados y al T2 y T4 para cadmio en almendras; además, no se encontró correlación significativa entre los tratamientos, los grupos microbianos y el Cd^{2+} en suelos y almendras de cacao.

La población media de bacterias aerobias viables (10^4 UFC/g), de actinomicetos (10^4 a 10^5), fungi y fijadores de nitrógeno (10^3 UFC/g), corresponde a un suelo con baja población microbiana. Los niveles de Cd^{2+} en suelos (0,17 a 0,25 $\mu\text{g. g}^{-1}$), se encuentran

Rev. Investig. Altoandín. 2019; Vol 21 Nro 4 264 - 273

por debajo de lo establecido por USEPA (2002) y es un suelo no contaminado según la UE. Los niveles medios de Cd²⁺ en almendras (0,31 a 0,43 µg. g⁻¹), son niveles bajos para la UE.

El uso de compost (en T2 y T4) mostro diferencias significativas para el Cd²⁺ en almendras, mas no mostro diferencias frente a las variables microbiológicas. Sin embargo, demuestra un potencial que requiere seguir investigando para generar tecnología que permita un manejo sustentable del cultivo de cacao en esta región.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, C., Araujo, C., Rodríguez, J., Valdivia, Á., Fuentes, A. y Pérez, H. (2018). Efecto de la aplicación combinada de fertilizante químico y humus de lombriz en *Capsicum annum*. *Revista Centro Agrícola*, 45(01), 52-61. Recuperado de <http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v45n1/cag07118.pdf>
- Altieri, M., Nicholls C. (2008). Suelos saludables, plantas saludables: la evidencia agroecológica. Suelos vivos. *LEISA revista de agroecología*, 24, 6-8. Recuperado de <http://www.leisa-al.org/web/index.php/volumen-24-numero-2/1865-suelos-saludables-plantas-saludables-la-evidencia-agroecologica>
- Argüello, N. A. y Moreno R. L. Y. (2014). Evaluación del potencial biofertilizante de bacterias diazótropas aisladas de suelos con cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*) *Acta Agron*, 63 (03), 238 – 245. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v63n3/v63n3a06.pdf>
- Arévalo, G. E., Meyier, E., Obando, C., Zúñiga, C. L., Cesar, O., Arévalo, H. C. O., Baligar, V. y Zhenli, He. (2016). Heavy metals in soils of cocoa plantations (*Theobroma cacao l.*) in three regions of peru. *Ecología Aplicada*, 15(2), 81-89. <https://doi.org/10.21704/rea.v15i2.747>
- Arévalo, G. (2014). Dinámica de los indicadores de calidad del suelo en el manejo de sistemas agroforestales con cacao. Tesis de maestría. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Baldani, V. (2007). Aislamiento, colonización e identificación de bacterias diazotróficas en plantas de arroz (*Oryza sativa*). En: Segundo curso internacional microorganismos promotores del crecimiento vegetal: rizobacterias y solubilizadores o movilizadores de fosfatos. Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia–IBUN
- Bravo, R., Arboleda, P. y Martín, P. (2014). Efecto de la calidad de la materia orgánica asociada con el uso y manejo de suelos en la retención de cadmio en sistemas altoandinos de Colombia. *Acta Agronómica*, vol. 63 (02): 164-174. <https://doi.org/10.15446/acag.v63n2.39569>
- Castebianco, J. A. (2018). Técnicas de remediación de metales pesados con potencial aplicación en el cultivo de cacao. La Granja: *Revista de Ciencias de la Vida*, 27(1), 21-35. <https://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.02>
- Coyne, M. (2000). Microbiología del suelo: un enfoque exploratorio. Editorial Paraninfo ITP an Intemational Thomson Publishing Company. Madrid España. pp 416.
- Cortes, P.; Bravo, R.; Martín, P. & Menjivar, F. (2016). Extracción secuencial de metales pesados en dos suelos contaminados (Andisol y Vertisol) enmendados con ácidos húmicos. *Acta Agron*, 65(03), 232-238. <https://doi.org/10.15446/acag.v65n3.44485>
- Chaves, B., Ortíz, M. y Ortiz, R. (2013). Efecto de la aplicación de agroquímicos en un cultivo de arroz sobre los microorganismos del suelo. *Acta Agronómica*, 62 (01), 66-72. <https://doi.org/10.15446/acag>
- Chávez, E., Stoffella, P., Mylavarapu, R., Moyano, B. y Baligar, V. (2015). Concentration of cadmium in cacao beans and its relationship with soil cadmium in southern Ecuador. *Science of The Total Environment*, 533(01), 205-214. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.106>
- Decreto Supremo N° 017-2009-AG. Aprueban Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor. <http://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-reglamento-clasificacion-tierras-capacidad-uso-mayor>

- Firme, L.P., Alvarez, V. F. y Rodellab, A. A. (2014). Solo contaminado com cádmio: Extratibilidade do metal e cinética química de degradação da matéria orgânica de torta de filtro. *Quim. Nova*, 37 (06), 956-963. <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20140173>
- Florida, R. N., Claudio, M. S. y Gómez, B. R. (2018). El pH y la absorción de cadmio en almendras de cacao orgánico (*Theobroma cacao* L.) en Leoncio Prado, Huánuco, Perú. *Folia Amazónica*, 27 (01), 1-8. <https://doi.org/10.24841/fa.v27i1.438>
- González, J. Y. T. (2010). Los actinomicetos: Una visión como promotores de crecimiento vegetal. Tesis. Pontificia Universidad Javeriana. Recuperado de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8665/tesis618.pdf;sequence=1>
- Huamani, H. A., Huauya, M. A., Mansilla, L. G., Florida, R. N. y Neira, G. M. (2012). Presencia de Metales pesados en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) orgánico. *Acta Agronómica*, 61(4), 339-344. <https://doi.org/10.15446/acag>
- Huauya, M. y Huamani, H. (2014). Macrofauna edáfica y metales pesados en el cultivo de cacao, *Theobroma cacao* L. (Malvaceae) *The Biologist* (Lima), 12(01), 45-55. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4754850>
- Huansi, P. A. T. (2011). Evaluación de la microflora del suelo durante el proceso de preparación tradicional de una chacra, en un bosque secundario de Zungarococha. Tesis. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Iquitos, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/2017/T-577-57-H83.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- He, Z., Yang, X., Baligar, V. y Calvert, D. (2003). Microbiological and biochemical indexing systems for assessing quality of acid soils. *Advances in Agronomy*, 78, 89-133. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(02\)78003-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(02)78003-6)
- Jiménez, T. C. S. (2015). Estado legal mundial del cadmio en cacao (*Theobroma cacao*): fantasía o realidad. *Producción + Limpia*, 10(01), 89-104. <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v10n1/v10n1a09.pdf>
- Labra, C. D., Guerrero, Z. L.A., Rodríguez, T. A. V., Montes, V. S., Pérez, J. S. & Rodríguez, D. A. (2012). Respuesta de crecimiento y tolerancia a metales pesados de *Cyperus elegans* Y *Echinochloa polystachya* inoculadas con una rizobacteria aislada de un suelo contaminado con hidrocarburos derivados del petróleo. *Rev. Int. Contam. Ambie*, 28 (1). 7-16. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v28n1/v28n1a1.pdf>
- Lanza, J. G., Churión, P. C., Liendo, N. J. y López, V. H. (2016). Evaluación del contenido de metales pesados en cacao (*Theobroma cacao* L.) de santa bárbara del zulía, Venezuela. *Saber, Universidad de Oriente, Venezuela*, 28(01), 106-115. Recuperado de <http://ojs.udo.edu.ve/index.php/saber/article/view/2103/1333>
- López, M., López, R., España, M., Izquierdo A. y Herrera L. (2007). Efecto de la fertilización inorgánica sobre la disponibilidad de nutrimentos en el suelo, nivel nutricional de la planta y hongos micorrízicos arbusculares en plantaciones de *Theobroma cacao*. *Agronomía Trop*, 57(01), Recuperado de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2007000100005
- Meter A., Atkinson R.J. & Laliberte B. (2019). Cadmium in Cacao from Latin America and the Caribbean – A Review of Research and Potential Mitigation Solutions. Bioersivity International, Rome, July 2019. recuperated of https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/102353/Cadmium_review_Meter_2019.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- MINAGRI. (2019). “Ministerio de Agricultura y Riego”. Dirección General de Políticas Agrarias; Dirección de Estudios Económicos e Información Agraria. Observatorio del Cacao. Boletín de publicación trimestral, enero 2019. Recuperado de <http://www.minagri.gob.pe/portal/analisis-economico/analisis-2019?download=14703:commodities-cacao-enero-2019>.
- MINAGRI. (2016). “Ministerio de Agricultura y Riego”. Estudio del cacao en el Perú y en el *Rev. Investig. Altoandín*. 2019; Vol 21 Nro 4 264 - 273

- mundo; Situación Actual y Perspectivas en el Mercado Nacional e Internacional al 2015. MINAGRI-DGPA-DEEIA Perú. Recuperado de <http://repositorio.minagri.gob.pe/handle/MINAGRI/478>
- Mite, F., Carrillo, M. y Durango, W. (2010). Avances del monitoreo de presencia de cadmio en almendras de cacao, suelos y aguas en Ecuador. Actas XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Santo Domingo. 17-19 de noviembre del 2010.
- Mora, J. (2006). La actividad microbiana: un indicador integral de la calidad del suelo. Revista Luna Azul. Universidad de Caldas, Manizales – Colombia. Recuperado de http://lunazul.ucaldas.edu.co/downloads/Lunazul5_6_9.pdf
- Orozco, C., Valverde, F., Martínez, T., Chávez, B. y Benavides, H. (2016). Propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo con manzano biofertilizado. *Terra Latinoamericana* 34: 441-456. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n4/2395-8030-tl-34-04-00441.pdf>
- Otero, J. V. (2011). Aislamiento, Selección e Identificación de Actinomicetos, Bacterias Fotosintéticas No Sulfurosas y Bacterias Ácido Lácticas con Potencial Biofertilizante, a Partir de Suelos Asociados al Cultivo de Plátano en la Costa Atlántica Colombiana. Tesis. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/5324/1/vanessaoterojimenez.2011.pdf>
- Pahuara H. D. y Zúñiga D. D. (2001). Efecto del fósforo sobre la población microbiana en suelos con pasturas en la zona altoandina de Junín. *Ecología Aplicada*, 1(01), 57-64. Recuperado de <http://www.lamolina.edu.pe/ECOLAPL/Art%C3%ADculo%209.pdf>
- Pulgar, V. J. (2014). Las ocho regiones naturales del Perú. *Terra Brasilis (Nova Série)* 3, 1-20. <https://doi.org/10.4000/terrabilis.1027>
- Salazar, L. A. M., Ordoñez, G. C. A., Hernández, S. D., Castaño, P. L. M., Peña, P. K., Rodríguez, N. J. R. y Bueno, L. L. (2014). Actinomicetos aislados del suelo del Jardín botánico de la Universidad Tecnológica de Pereira. *Scientia et Technica*, 19 (02), 223 -229. Recuperado de <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/8397/5794>
- Sánchez, R. y Rengifo T. (2017). Evaluación del contenido de metales pesados (Cd y Pb) en diferentes edades y etapas fenológicas del cultivo de cacao en dos zonas del Alto Huallaga, Huánuco (Perú). *Rev. de investig. agroproducción sustentable*, 1(01), 87-94. <https://doi.org/10.25127/aps.20171.356>
- Sofía, A. & Pablo, P. (2013). Determinación de Cadmio en la Almendra de Cacao (*Theobroma cacao* L.) de cinco fincas ubicadas en vía San Domingo, Esmeralda Tesis Pontificia Universidad del Ecuador, facultad de ciencias exactas y naturaleza, Ecuador.
- Soriano, B., Soriano E. (2010). Degradación de pesticidas por Actinomicetos. *UCV Scientia*, 2 (01), 34-37. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6181506>
- Tantaleán, P. E. y Huauya, R.M. (2017). Distribución del contenido de cadmio en los diferentes órganos del cacao CCN-51 en suelo aluvial y residual en las localidades de Jacintillo y Ramal de Aspuzana. *Rev. de Investig. Agroproducción Sustentable*, 1(2), 69-78. <http://dx.doi.org/10.25127/aps.20172.365>
- United States Environmental Protection Agency-USEPA. (2002). Supplemental guidance for developing soil screening levels for superfund sites. Recuperado de <http://www.epa.gov/superfund/health/conmedia/soil/index.htm>
- Zapana, J. G., Mamani, M., Escobar-Mamani, F., & Zapana, J. C. (2017). Producción de raíz tuberosa en cultivo de “mauka” (*Mirabilis expansa* [Ruiz y Pavón] Standley) con aplicación de abonamiento orgánico y fertilización química en Puno - Perú. *Journal of High Andean Research*, 19(3), 275–284. <https://doi.org/10.18271/ria.2017.292>