

MANEJO SUSTENTABLE DE TIERRAS Y SEGURIDAD ALIMENTARIA

Evaluación del uso de un biocarbono sobre la absorción de cadmio del suelo y la productividad del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Amazonía ecuatoriana.

Evaluation of the use of a biocarbon on the absorption of cadmium from the soil and the productivity of the cocoa crop (*Theobroma cacao* L.) in the Ecuadorian Amazon.

Carlos Alfredo Bravo Medina¹, Reinaldo Demesio Alemán Pérez, Jorge Antonio Freile Almeida, Héctor Fernando Reyes Morán, Marco Washington Andino Inmunda, Jorge Luis Alba Rojas, Yamila Lazo Pérez y Ernesto Marino Ibarra

¹Universidad Estatal Amazónica, Ecuador
cbravo@uea.edu.ec

Recibido: 08/07/2018

Aceptado: 18/12/2018

Publicado: 28/06/2019

RESUMEN

Los niveles crecientes de cadmio en suelos agrícolas generan preocupación ambiental debido a su movilidad y a la facilidad con que es absorbido por las plantas. El objetivo de este trabajo fue evaluar el funcionamiento del fertilizante Farmlandmiracle sobre la capacidad de adsorción del cadmio del suelo y su efecto en la productividad del cultivo de cacao en la provincia de Napo, Ecuador. Se evaluaron tres tratamientos distribuidos en un bloque al azar que comprendió tres dosis del fertilizante Farmlandmiracle (alta, media y baja). Se realizó un muestreo previo al establecimiento de los tratamientos y otro al final del período de cosecha. Para ello, se colectaron cinco muestras de suelo a dos profundidades de 0-10 cm y de 10 a 30 cm en el área experimental para la posterior determinación de propiedades físicas, químicas y el contenido de cadmio tanto en suelo como en la almendra. El contenido de cadmio disponible en el suelo inicial y final, exhibió concentraciones consideradas como bajas al compararla con el valor crítico (2 mg kg⁻¹) con una reducción del 99% con la aplicación del fertilizante Farmlandmiracle (biocarbono). La concentración de cadmio en las almendras para ambas fechas, resultó ser bajo cuando se comparó con el nivel de referencia (1 mg kg⁻¹), lo cual se corresponden con los valores registrados de concentración de cadmio en el suelo. No obstante, con la aplicación del biocarbono se presentó una disminución del cadmio en la almendra de un 97% aproximadamente con respecto al valor inicial.

PALABRAS CLAVE: amazonía, biocarbono, contaminación, propiedades del suelo.

ABSTRACT

Increasing levels of cadmium in agricultural soils cause environmental concern due to its mobility and the ease with which it is absorbed by plants. The objective of this study was to evaluate the performance of Farmland miracle fertilizer on the adsorption capacity of Cadmium from the soil and its effect on the productivity of the cocoa crop in the province of Napo, Ecuador. Three treatments distributed in a random block comprising three doses of Farmland miracle fertilizer (high, medium and low) were evaluated. A sampling was carried out prior to the establishment of the treatments and another at the end of the harvest period. For this, five soil samples were collected at two depths of 0-10 cm and 10 to 30 cm in the experimental area for the subsequent determination of physical, chemical properties and cadmium content in both soil and almonds. The cadmium content available in the initial and final soil exhibited concentrations considered low when compared to the critical value (2 mg kg⁻¹)

with a 99% reduction with the application of the Farmland miracle fertilizer (biocarbon). The cadmium concentration in the almonds for both dates turned out to be low when compared with the reference level (1 mg kg^{-1}), which correspond to the registered values of cadmium concentration in the soil. However, with the application of biocarbon, there was a decrease in cadmium in almonds of approximately 97% with respect to the initial value.

KEYWORDS: amazon, biocarbon, contamination, soil properties.

INTRODUCCIÓN

La importancia que representa la Región Amazónica Ecuatoriana (RAE) tanto para el Ecuador como para la comunidad internacional se debe a la alta riqueza de recursos, su biodiversidad y al gran aporte como pulmón verde del planeta, por todos los servicios ambientales que presta y en especial en la reducción de emisiones de CO_2 a la atmósfera, contribuyendo a minimizar el impacto climático (Bravo *et al.*, 2017).

En el año 2013 la producción mundial de cacao (*Theobroma cacao* L.) alcanzó 4.58 millones de toneladas, Costa de Marfil fue el principal productor mundial con 1.44 millones de toneladas. Los países del continente africano aportaron el 65.7%, Asia y Oceanía 18.6% y América 15.7% del total de cacao producido a nivel mundial, Ecuador produjo 128 446 mil toneladas (Vasco, 2008). Más del 70% de la producción mundial de cacao fino de aroma se realiza en Ecuador, por lo que es el mayor productor de este cacao calidad superior. Es el quinto producto más exportado por el país dentro de las exportaciones no petroleras y es fuente de ingreso y empleo de una gran cantidad de familias (Vasco, 2008).

Desde hace más de una década, el Instituto de Investigaciones Agropecuarias del Ecuador se encuentra investigando la presencia de metales pesados en suelos agrícolas, aguas y en cultivos de exportación, particularmente el cacao, en miles de muestras de suelos, tejidos de la planta de cacao y agua (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP], 2017). En este sentido, se ha determinado que la secuencia de acumulación de este elemento en los tejidos de cacao se da en el siguiente orden: raíz, tallo, hojas, cáscara o testa y grano de cacao, lo quiere decir que el grano de cacao contiene el menor porcentaje de cadmio respecto a los demás tejidos de la planta (Mite *et al.*, 2010).

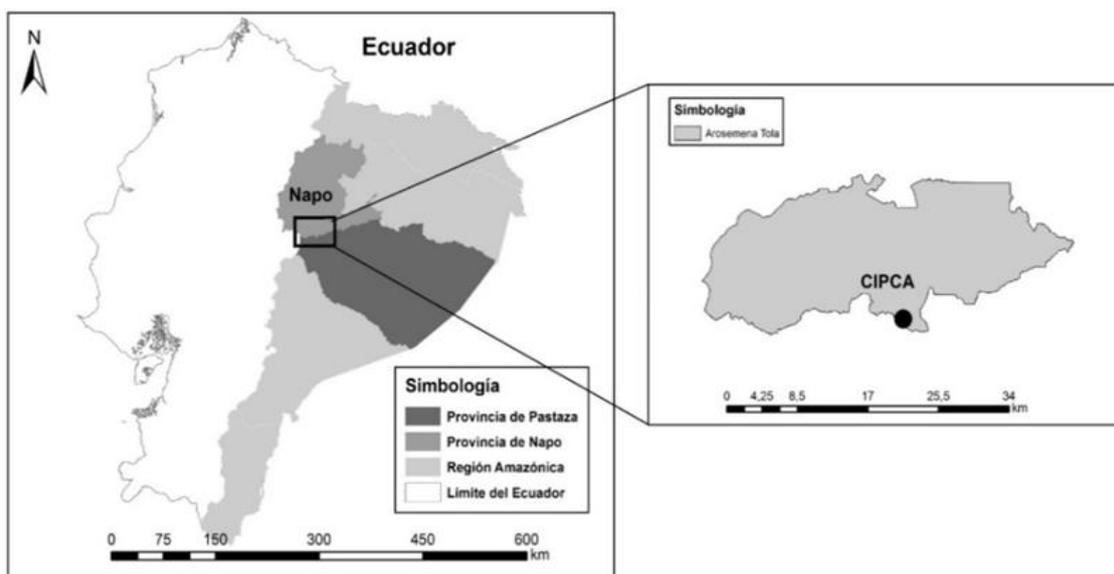
El cadmio es un metal pesado que se encuentran de manera natural en la corteza terrestre en forma de mineral y está asociado a graves problemas de salud humana (Prieto *et al.*, 2009). Su presencia en suelos agrícolas en niveles crecientes genera gran preocupación ambiental debido a su movilidad y a la facilidad con que es absorbido por las plantas sin cumplir ninguna función metabólica o fisiológica. Debido a la perturbación y la aceleración producto de la actividad humana, del lento ciclo geoquímico de los metales, la mayoría de los suelos de los entornos rurales y urbanos pueden acumular uno o más de los metales pesados por encima de los valores definidos como suficientemente altos como para causar riesgos para la salud humana, las plantas, los animales, y el ecosistema (Nigam *et al.*, 2001).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el funcionamiento del fertilizante Farmlandmiracle sobre la capacidad de absorción del cadmio del suelo y su efecto en la productividad del cultivo de cacao en la provincia de Napo, Amazonía ecuatoriana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este estudio se seleccionó un suelo manejado con cacao (*Theobroma cacao* L.) bajo sistema agroforestal con una superficie de 4 hectáreas, localizado en el Centro de investigación, Posgrado y Conservación Amazónica (CIPCA), de la Universidad Estatal Amazónica, provincia de Napo (*figura 1*).

Figura 1. Ubicación relativa del área de estudio.



Fuente: Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica (CIPCA)

El área bajo estudio ha sido clasificada como Bosque húmedo tropical, con una precipitación promedio de 3 000 mm distribuidos uniformemente durante todo el año, alta humedad relativa alrededor de 86% y temperaturas promedio anuales de 25°C (Uvidia *et al.*, 2015).

Se evaluaron cuatro tratamientos distribuidos en un bloque completamente aleatorizado etiquetados como: a) A: Dosis alta 700 g por planta de fertilizante Farmlandmiracle; b) M: Dosis media 500 g por planta de fertilizante Farmlandmiracle; c) B: Dosis baja 300 g por planta de fertilizante Farmlandmiracle; Fo: Fertilización orgánica.

Muestreo de suelo y determinación de propiedades físicas, químicas y contenido de cadmio disponible

En cada ensayo se realizó un muestreo previo al establecimiento de los tratamientos y otro al final del período de cosecha. Se recolectaron cinco muestras representativas a dos profundidades 0-10 y de 10-30 cm. Para la determinación de los parámetros físicos del suelo relacionados con los índices estructurales se usaron muestras no alteradas con cilindros de 5 cm de altura x 5 cm de diámetro recolectados con un toma muestra tipo Uhland (Pla, 2010), en los cuales se midieron las siguientes variables: a) Densidad aparente (D_a) usando el método del cilindro (Blake y Hartge, 1986); b) conductividad hidráulica saturada (K_{sat}) mediante el método de carga variable, siguiendo el método descrito en Pla (2010); c) distribución de tamaño de poros (Pt: porosidad total), porosidad de aireación (Pa: poros de radio $>15 \mu m$) y porosidad de retención usando la mesa de tensión a saturación y a un potencial mátrico de -10 kPa (Gee y Bauder, 1986). La variable química medidas fueron: el pH medido por potenciometría (relación suelo-agua 1:2.5), las bases cambiables (Ca, Mg, K), contenido de fósforo y microelementos fueron medidos por la metodología de Olsen modificado (Bertsh, 1995). El nitrógeno total se midió por el método de kjeldahl. Para la determinación de la Densidad aparente (D_a) se realizó en muestras no alteradas con cilindros de 5 cm de altura x 5 cm de diámetro recolectados con una toma muestra tipo Uhland (Pla, 2010) usando el método del cilindro (Blake y Hartge, 1986). El cadmio (Cd^{+2}) disponible se determinó empleando el extractante EDTA 0.05M pH 7 (Westerman, 1990) y se cuantificó usando el método de espectrofotometría de absorción atómica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades del suelo asociado a la fertilidad y el contenido de cadmio

En la *tabla 1* se muestran los resultados de las clases texturales y las propiedades físicas relacionadas con los índices estructurales, como indicadores de la fertilidad física del suelo, que influye fuertemente sobre su funcionamiento y el desarrollo del cultivo. En este contexto, los índices estructurales para las tres zonas estudiadas usando como factor la profundidad de muestreo y uso del suelo, presentó diferencias significativas ($P < 0.05$), resultando en mejores condiciones físicas el horizonte superficial indistintamente del uso del suelo.

Se puede apreciar que la clase textural para ambos horizontes se corresponden con texturas predominantemente finas a medias (Franco arcillosa, Arcillosas). La textura del suelo representa una variable de gran significado agrícola ya que está relacionada con otros parámetros físicos, químicos y biológicos como la retención de humedad, la capacidad de intercambio catiónico, la disponibilidad de nutrientes, la porosidad, y la actividad biológica (Bravo *et al.*, 2008; Pla, 2010). En este sentido, los valores de densidad aparente del suelo (D_a) oscilaron entre 0.50 en el horizonte superficial a 0.60 mg/m^3 en la capa más profunda, lo cual se consideran bajos cuando se compara con el valor de referencia ($1.2 \text{ mg}/\text{m}^3$) y no representan problemas de compactación y de penetración de raíces. A pesar de ello se presentaron diferencias en el movimiento de agua en el suelo siendo muy alta en horizonte superficial y disminuyendo drásticamente a partir de los 10 cm a valores que pueden ser considerado limitantes ($< 0.5 \text{ cm}/\text{h}^{-1}$).

A veces los efectos más importantes son cambios en la geometría de poros, que aún sin grandes variaciones en la densidad determinan fuertes cambios en el comportamiento hidrológico del suelo (Bravo *et al.*, 2017). Los valores de la porosidad total obtenidos estuvieron muy relacionados con la densidad aparente, sugiriendo que una mayor densidad significó menor porosidad total (Pt). La (Pt) es alta en ambas profundidades (mayor de 60%), con una gran fracción del volumen total representada por los poros de retención (Pr), lo cual le confiere a estos suelos una alta capacidad de retención de humedad.

En contraparte, el volumen de poros de aireación (macroporos (Pa) $> 15 \mu\text{m}$) que contribuyen activamente al flujo de agua (Bravo *et al.*, 2017; Álvarez y Taboada, 2008), son los que están en menores proporciones. En este contexto, cuando se detallan los valores de dicha variable se registró una adecuada porosidad en la capa superficial, mientras que la segunda profundidad mostró valores cercanos a 8%, por debajo del límite crítico (10%) que se corresponde con los valores de la conductividad hidráulica saturada. En relación a los macroporos, se ha señalado que aquellos valores por debajo de 10% pueden representar serias limitaciones al flujo de agua, de aire, a la actividad biológica y a la penetración de raíces (Bravo *et al.*, 2017; Pla, 2010). El incremento de macroporos en la capa superficial pudiera estar asociado a la mayor actividad biológica, a la macro fauna especialmente las lombrices y los residuos que dejan las raíces de los cultivos, tal como ha sido señalado por otros investigadores (Bravo *et al.*, 2017). La condición física del suelo determina la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de las propiedades físicas del suelo en la localidad del CIPCA.

Propiedades	Profundidad	Media	Desviación Típica	Mínimo	Máximo
Densidad aparente (Da, mg/m ⁻³)	0-10 cm	0.50	0.05	0.46	0.57
	10-30 cm	0.59	0.09	0.47	0.72
Conductividad hidráulica saturada (Ks, cm/h ⁻¹)	0-10 cm	22.45	22.40	0.29	54.61
	10-30 cm	0.2	0.19	0.22	0.69
Porosidad total (Pt, %)	0-10 cm	81.27	8.12	69.32	89.01
	10-30 cm	80.66	10.95	63.97	89.90
Porosidad de aireación (Pa,%)	0-10 cm	15.88	1.82	13.71	18.12
	10-30 cm	8.12	3.55	4.81	14.09
Porosidad de retención (Pr,%)	0-10 cm	65.39	9.05	53.29	75.29
	10-30 cm	72.53	8.99	59.16	82.13
Clase textural	0-10 cm	Franco arcillosa			
	10-30 cm	Arcillosa			

Fuente: *Elaboración propia.*

La fertilidad química en la región amazónica ecuatoriana (RAE), está muy marcada por los procesos de formación del suelo y en especial el clima que ha ejercido un papel importante en el proceso de ferralitización o enriquecimiento de hierro (Custode y Sourdat, 1986). El estudio de los parámetros químicos asociados a la fertilidad del suelo en las dos profundidades consideradas (0-10 y 10-30 cm) se muestra en la *tabla 2*.

Tabla 2. Estadísticos descriptivos de las propiedades químicas del ensayo realizado en el CIPCA.

Propiedades Químicas	Profundidad cm	Media	Desviación Típica	Mínimo	Máximo
pH	0-10	5,09MA	0,24	4,79	5,32
	10-30	5,18MA	0,31	4,75	5,55
Carbono Orgánico (COT, %)	0-10	12,76 A	3,08	8,94	17,53
	10-30	5,83 A	0,38	5,44	6,23
Nitrógeno total (Nt, %)	0-10	0,44M	0,15	0,26	0,65
	10-30	0,25M	0,02	0,21	0,27
Relación C:N	0-10	29,81	4,31	23,95	34,40
	10-30	23,77	1,56	21,77	25,97
Fósforo Disponible (P, mg kg ⁻¹)	0-10	4,56B	1,37	3,20	6,40
	10-30	3,16B	1,81	1,00	5,90
Azufre disponible (S, mg kg ⁻¹)	0-10	25,20 M	32,37	9,20	83,00
	10-30	8,04 B	3,25	5,00	12,00
Potasio (K, meq 100 ml)	0-10	0,05 B	0,01	0,04	0,07
	10-30	0,02 B	0,01	0,02	0,03
Calcio (Ca, meq 100 ml)	0-10	1,81 B	1,03	0,75	3,40
	10-30	0,47 B	0,14	0,35	0,71
Magnesio (Mg, meq 100 ml)	0-10	0,39 B	0,16	0,27	0,62
	10-30	0,12 B	0,01	0,10	0,14
Zinc (Zn, mg kg ⁻¹)	0-10	1,28 B	0,25	0,90	1,50
	10-30	0,48 B	0,15	0,30	0,70

	0-10	4,80 A	0,73	3,70	5,40
Cobre (Cu, mg kg ⁻¹)	10-30	4,72 A	1,01	3,70	5,90
	0-10	159,40 A	21,80	129,00	190,00
Hierro (Fe, mg kg ⁻¹)	10-30	106,60 A	15,32	92,00	130,00
	0-10	5,36 B	1,30	3,90	6,70
Manganeso (Mn, mg kg ⁻¹)	10-30	3,14 B	0,33	2,80	3,50
	0-10	0,46 B	0,11	0,30	0,60
Boro (B, mg kg ⁻¹)	10-30	0,42 B	0,16	0,20	0,60
cadmio (Cd, mg kg ⁻¹)	0-10	0,20 B	0,04	0,16	0,27
I Muestreo	10-30	0,16 B	0,05	0,11	0,25
cadmio (Cd, mg kg ⁻¹)					
II Muestreo					
	0-10	0,00036 B	0,0001	0,00034	0,0004
A: Dosis alta Farmlandmiracle	10-30	0,00023 B	0,0001	0,0002	0,0004
	0-10	0,00041 B	0,0001	0,0004	0,0006
M: Dosis media Farmlandmiracle	10-30	0,00025 B	0,0001	0,0002	0,0004
	0-10	0,00048 B	0,0001	0,0004	0,0005
B: Dosis baja Farmlandmiracle	10-30	0,00027 B	0,0001	0,0002	0,0004
	0-10	0,00061 B	0,0001	0,0004	0,0007
Fo: Fertilización orgánica	10-30	0,00039 B	0,0001	0,0002	0,0004

Nota: A: Alto; M: Medio; B: Bajo. **Tratamientos:** a) **A:** Dosis alta 700 g por planta de fertilizante Farmlandmiracle; b) **M:** Dosis media 500 g por planta de fertilizante Farmlandmiracle; c) **B:** Dosis baja 300 g por planta de fertilizante Farmlandmiracle; **Fo:** Fertilización orgánica. **Fuente:** Elaboración propia.

Se puede observar que el suelo presentó un pH categorizado como muy ácido en ambas profundidades, con altos contenidos de materia orgánica sobre todo en el horizonte superficial y bajos contenidos de nutrientes principalmente el fósforo (P), las bases intercambiables (K⁺, Ca²⁺, y Mg²⁺) y algunos microelementos como el Zn, Mn en ambos horizontes. En contraparte el contenido de hierro (Fe) y cobre (Cu).

El comportamiento químico del suelo en estas condiciones esta muy relacionado con los materiales parentales y muchos de los procesos ocurridos que dan origen a estos suelos, vinculados al contexto edafo climático. Este tipo de ambiente facilita el lavado de las bases cambiables (K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺) y permite que en la fracción de intercambio predominen cationes como el Fe³⁺ y Al³⁺ que son fuentes de acidez del suelo (Gardi *et al.*, 2014). El contenido de materia orgánica en especial en el horizonte superficial influye sobre el contenido de nitrógeno total, cuyos valores muestran contenidos moderados.

En relación al contenido de cadmio en el suelo se presentan tanto los valores iniciales, antes de establecer el ensayo como los valores finales (*tabla 2*). Se puede señalar que la concentración en ambas fechas fue considerada como baja al compararla con el valor crítico propuesto por Mite *et al.* (2010) (2 mg kg⁻¹) oscilando de 0.16 a 0.20 mg kg⁻¹ en el primer muestreo y luego disminuyendo con la aplicación de la enmienda (Farmlandmiracle), variando de 0.0003 a 0.0005 mg kg⁻¹. Si bien, el contenido de cadmio (Cd²⁺) por los impactos que tiene es uno de los metales o elementos tóxicos considerado en aspectos de seguridad alimentaria y salud humana a nivel mundial (Alloway, 2012), los valores obtenidos en el ensayo no representan ningún problema. No obstante, si se demuestra que aun en suelos con bajas concentraciones de cadmio con la aplicación del fertilizante Farmlandmiracle se logran disminuir dichas concentraciones en un 99% aproximadamente.

Parámetros morfofisiológicos y contenido de cadmio en las almendras del cultivo de cacao

En las variables de crecimiento como: altura, diámetro del tallo, y número de ramas las plantas de cacao evaluadas bajo el efecto del fertilizante Farmlandmiracle (biocarbono) mostraron un desarrollo normal acorde con las condiciones edafoclimáticas de la zona (tabla 3). El cacao posee diversidad de cultivares que pueden manifestarse de forma diferente en sectores con variaciones y fluctuaciones de las variables climáticas.

Tabla 3. Indicadores morfológicos de la planta de cacao y contenido de cadmio en las almendras de la mazorca en el ensayo localizado en el CIPCA, cantón Arosemena Tola, Provincia Napo.

Variables morfológicas y productivas	16/Nov/2016	15/Nov/2017	05/Ene/2018
Altura de la planta (cm)	254	271	
Diámetro del tallo (cm)	8.4	10.1	
Número de ramas por planta	26	31	
Número de cojines florales	75	87	
Número de frutos formados	35	41	
Número de frutos cosechados	8	7	
Masa de la mazorca (kg)	0.65	0.67	
Masa de la semilla fresca (kg)	0.14	0.15	
Longitud de semilla (mm)	25.2	24.9	
Ancho de semilla (mm)	13.5	14.1	
Espesor de semilla (mm)	8.4	8.7	
Número de semilla por mazorca	38	38	
Masa de una semilla (g)	1.77	1.78	
Masa de semilla seca (kg)	0.06	0.07	
Índice de semilla	1.73	1.73	
Índice de mazorca	16	16	
Cadmio en almendra (mg/kg⁻¹)	0.14	----	0.0034

Fuente: Elaboración propia.

Debido a la complejidad de factores internos y externos es muy difícil estimar la influencia del ambiente sobre el crecimiento y la producción del cacao, pero pueden comportarse bien en ambientes no apropiados, diferentes a los existentes en las condiciones de origen (Amores *et al.*, 2010). Estas consideraciones permiten inferir que los clones propios de la Amazonía deben expresar toda su potencialidad en la misma, es el caso del clon EET-103 en el que uno de sus progenitores es el cacao nacional (Vasco, 2008).

En los indicadores de fructificación, los resultados de la floración, cuajado y frutos cosechados existió un incremento desde el antes y el después de haber aplicado los tratamientos como se muestran en la tabla 3. Este es un proceso que determina el rendimiento de mazorcas y por tanto de la producción de semillas secas. No obstante, es notorio el descenso cuantitativo marcado que se va presentando a partir de la formación de cojinetes florales, pasando por la formación de frutos donde el perjuicio es mayor al 50% aproximadamente, incrementándose la pérdida en el número de frutos cosechados entre un 73 – 83% en las dos fechas de muestreo. Estas variables decisivas en los rendimientos de semillas secas están muy relacionadas con la pérdida de frutos debido al marchitamiento fisiológico de las «chereles», que conlleva a una eliminación y caída de frutos de pequeño tamaño (Amores *et al.* 2010). Es necesario tener en cuenta el daño causado por moniliasis, pues según Phillips *et al.* (2012), esta enfermedad constituye la mayor amenaza en la producción de cacao en el mundo actualmente,

aunque se ha tratado de buscar resistencia al hongo *Monilophthora roreri* (Hernández-Gomez *et al.*, 2012).

En los parámetros de semillas fermentadas y secas como son: longitud, ancho y grosor, así como también los indicadores de número de semillas por mazorca, masa de una semilla, masa de semillas/mazorca y los índices de semilla y mazorca; los resultados se presentaron sin mayores variaciones en las dos fechas de muestreo en este ensayo; pero si existe algunas diferencias en algunos de estos parámetros, especialmente en los índices de semilla y mazorca ya publicados en trabajos de adaptabilidad de clones promisorios realizados en la estación Napo-Payamino, Paredes *et al.* (2007) determinaron valores de índice de mazorca de 19 en los clones EET-103 y EET-95 y en el clon CCN-51 de 17, los resultados obtenidos en el presente trabajo fueron mejores en este ensayo con el clon EET-103, ya que el número de mazorcas necesarias para obtener un kilogramo de semillas secas fue menor.

Los valores obtenidos de la concentración de cadmio (Cd^{+2}) en las almendras para ambas fechas, resultó ser bajo cuando se compara con el nivel de referencia (INIAP, 2017); 1 mg kg^{-1} , tales resultados se corresponden con los valores registrados de concentración de cadmio en el suelo, que igualmente son bajos en relación a los límites permitidos por la Organización Mundial de la Salud. Los efectos perceptibles de la fitotoxicidad del cadmio dependen de la especie, siendo los más comunes la clorosis que incluye una reducción en el contenido de clorofila, marchitez y en ocasiones necrosis, este tipo de efectos se debe principalmente a que las altas concentraciones de cadmio inhiben la fotosíntesis y la fijación de bióxido de carbono. En nuestro ensayo debido a que las concentraciones tanto en suelo como en las almendras de cacao fueron bajas, este tipo de efecto no se manifestó.

CONCLUSIONES

El suelo estudiado presenta unas adecuadas condiciones físicas para el cultivo de cacao, reflejado por los valores obtenidos en la mayoría de los índices estructurales evaluados. Los parámetros químicos evaluados reflejan un suelo con pH ácido, alto contenido de materia orgánica y baja concentración de nutrientes que lo categoriza de baja fertilidad. El comportamiento químico del suelo en estas condiciones esta muy relacionado con los materiales parentales y muchos de los procesos ocurridos que dan origen a estos suelos, vinculados al contexto edafoclimático.

El contenido de cadmio disponible en el suelo inicial y final, exhibió concentraciones consideradas como bajas al compararla con el valor crítico (2 mg kg^{-1}) con una reducción del 99% con la aplicación del fertilizante Farmlandmiracle.

Los valores obtenidos de la concentración de cadmio en las almendras para ambas fechas, resultó ser bajo cuando se comparó con el nivel de referencia (1 mg kg^{-1}), lo cual se corresponden con los valores registrados de concentración de cadmio en el suelo. Por tanto, con la aplicación del fertilizante Farmlandmiracle, existió una disminución del cadmio en la almendra de 97% aproximadamente con respecto al valor inicial.

En cuanto a las variables morfológicas analizadas en las dos fechas en este ensayo, si bien no muestran una diferencia marcada, se puede notar que si hubo un incremento cuantitativo en la mayoría de los indicadores. Lo cual se puede deber al desarrollo normal genético del material vegetal, así como también a la influencia edafoclimáticas de la zona y el sitio del experimento, más no a la influencia que pudiera haber ejercido el fertilizante Farmlandmiracle.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alloway, B.J. (Ed.). (2012). *Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability* (Vol. 22). Springer Science & Business Media.

- Álvarez, C.R., Taboada, M.A. (2008). Fertilidad física de los suelos. Segunda Edición. Universidad de Buenos Aires.
- Amores, F., Suárez, C. y Garzón, I. (2010). Producción intensiva de cacao Nacional con sabor "Arriba": Tecnología, presupuesto y rentabilidad. *Manual Técnico (82)*.
- Bertsh, F. (1995). *La fertilidad de los suelos y su manejo*. 1^{ra} ed. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
- Blake, G.R. & Hartge, K.H. (1986). Bulk density. In A. Klute (Ed.), *Methods of soil Analysis, Part I. Physical and Mineralogical Methods* (pp. 363-375). ASA/SSSA <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c13>
- Bravo, C., Lozano, Z., Hernández-Hernández, R.M., Cánchica, H. y González, I. (2008). Siembra directa como alternativa agroecológica para la transición hacia la sostenibilidad de las sabanas. *Acta Biológica*, 28(1), 7-26.
- Bravo, C., Marín, H., Marrero-Labrado, P., Ruiz, M. E., Torres-Navarrete, B., Navarrete-Alvarado, H., Durazno-Alvarado, G. y Changoluisa-Vargas, D. (2017). Evaluación de la sustentabilidad mediante indicadores en unidades de producción de la provincia de Napo, Amazonía ecuatoriana. *Bioagro*, 29(1), 23-36.
- Custode, E., y Sourdat, M. (1986). Paisajes y suelos de la Amazonía ecuatoriana: entre la conservación y la explotación. *Revista del Banco Central del Ecuador*, 24, 325-339. <https://n9.cl/m146>
- Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz Gaistardo, C., Encina Rojas, A., Jones, A., Krasilnikov, P., Mendonça Santos Brefin, M.L., Montanarella, L., Muñiz Ugarte, O., Schad, P., Vara, Rodríguez, M.I. y Vargas, R. (eds). (2014). *Atlas de suelos de América Latina y el Caribe*. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, pp.176.
- Gee G.W., & Bauder. J.W. (1986). Particle size analysis. In A. Klute (Ed.), *Methods of soil Analysis, Part I. Physical and Mineralogical Methods* (2^{da} ed., pp. 337-382). ASA/SSSA
- Hernández, E., López, M.C., Garrido, E.R., Solís, J.L., Zamarripa, A., Avendaño, C.H., y Mendoza, A. (2012). La moniliasis (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) del cacao: búsqueda de estrategias de manejo. *Agroproductividad*, 5(6), 3-9. <https://n9.cl/pv439>
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. (2017). Informe Técnico Anual Estación Experimental Tropical Pichilingue. <https://n9.cl/onf7>
- Mite, F., Carrillo, M. y Durango, W. (17 al 19 de noviembre de 2010). *Avances del monitoreo de presencia de cadmio en almendras de cacao, suelos y aguas en Ecuador* [Conferencia]. XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.
- Nigam, R., Srivastava, S., Prakash S. y Srivastava, M.M. (2001). Cadmium mobilisation and plant availability - the impact of organic acids commonly exuded from roots. *Plant Soil*, 230(1), 107-113. <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1004865811529>
- Paredes, N., Tinoco, L. y Bermeo, F. (2007). *Obtención de clones de cacao para la Amazonía ecuatoriana*. Estación Experimental Napo-Payamino, Ecuador. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.

- Phillips, M.W., Arciniegas, L. y Mata, Q.A. (2012). *Catálogo de clones de cacao seleccionados por el CATIE para siembras comerciales*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/7280>
- Pla, I. (2010). Medición y evaluación de propiedades físicas de los suelos: dificultades y errores más frecuentes. *Propiedades Mecánicas. Suelos Ecuatoriales*, 40(2), 75-93. <https://n9.cl/p9yg>
- Prieto, J., González, C.A., Román, A.D. y Prieto, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10, 29 – 44. <https://www.redalyc.org/pdf/939/93911243003.pdf>
- Uvidia, H., Ramírez, J., Vargas, J., Leonard, I. y Sucoshañay, J. (2015). Relación del clima con el rendimiento y la calidad del *Pennisetumpurpureum* en la Amazonia Ecuatoriana. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 16(6), 1-6. <https://www.redalyc.org/pdf/636/63641399005.pdf>
- Vasco, M.A. (2008). *Avances en el desarrollo de nuevas variedades de cacao en el Ecuador. Situación actual y perspectivas*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.
- Westerman, R. (1990). *Soil testing and plant analysis*. 3rd ed. Soil Science Society of America. SSSA.