



Imagen de: Salomón Barrezueta Unda

## Propiedades de algunos suelos cultivados con cacao en la provincia El Oro, Ecuador

## Properties of several soils cultivated with cocoa in the province of El Oro, Ecuador

Salomón Barrezueta-Unda

### RESUMEN

Las propiedades físicas y químicas del suelo, en conjunto, condicionan la capacidad productiva de las plantas. La investigación tuvo como objetivo caracterizar las propiedades de los principales suelos cacaoteros de la provincia de El Oro (Ecuador), en los municipios de El Guabo, Machala, Santa Rosa y Pasaje. Se seleccionaron 30 parcelas, conformadas por los tipos de cacao CCN51 (n = 18) y Nacional (n = 12), de las cuales, se extrajeron muestras de suelo de 0 cm a 30 cm, para analizar varias propiedades físicas y químicas en laboratorio. Los resultados no mostraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre las propiedades físicas. Los niveles de carbono variaron de 1.58 % (El Guabo) a 2.06 % (Santa Rosa). En general, el nitrógeno fue bajo (0.16 % a 0.18 %). Los valores de CE (rango; 0.13 dS/m a 0.21 dS/m), pH (rango, 6.46 a 7.72), CIC (23.40 cmol/kg a 43.86 cmol/kg), potasio (0.31 cmol/kg a 1.86 cmol/kg) y calcio (19.99 cmol/kg a 37.73 cmol/kg), tendieron a ser más altos en suelos de Machala ( $P < 0.05$ ) y más bajos en los de Pasaje. En Santa Rosa, los suelos presentaron concentraciones más altas de cobre (16.6 mg/k) ( $P < 0.05$ ), que en el resto de los municipios. El rendimiento del cacao CCN51 (2 570.24 kg/ha/a a 4 158.34 kg/ha/a) fue superior a Nacional (324.00 kg/ha/a a 814.17 kg/ha/a). Los suelos de Machala presentaron valores nutrimentales más altos, asociados con el mayor rendimiento promedio para cacao variedad Nacional, y un alto rendimiento para variedad CCN51.

**PALABRAS CLAVE:** cultivos asociados, monocultivo, fertilización, rendimiento.

### ABSTRACT

The physical and chemical properties of the soil, as a whole, condition the productive capacity of the plants. The research aimed to characterize the properties of the main cocoa soils in the province of El Oro (Ecuador), in the municipalities of El Guabo, Machala, Santa Rosa and Pasaje. We selected 30 plots of cocoa types CCN51 (n = 18) and National (n = 12), from which soil samples from 0 cm to 30 cm were extracted to analyze various physical and chemical properties in the laboratory. The results showed no significant differences ( $P > 0.05$ ) between the physical properties. The carbon levels, ranged from 1.58 % (El Guabo) to 2.06 % (Santa Rosa). In general, the nitrogen was low (0.16 % a 0.18 %). The values of: CE (0.13 13 dS/m to -0.21 dS/m), pH (6.46 to 7.72), CIC (23.4040 cmol/kg to -43.86 cmol/kg), potassium (0.310.31 cmol/kg to -1.86 cmol/kg) and calcium (19.99 cmol/kg to -37.73 cmol/kg) tended to be higher in Machala soils ( $< 0.05$ ) and lower in Pasaje soils. The soils of Santa Rosa had higher concentrations of copper (16.6 mg/k) ( $P < 0.05$ ) than in the rest of the municipalities. Cocoa yield CCN51 (2 570.24 kg/ha/y to 4 158.34 kg/ha/y) was higher than National (324.00 kg/ha/y to 814.17 kg/ha/y). The soils of Machala presented higher nutritional values, associated with higher average yield for National variety cocoa, and a high yield for CCN51 variety.

**KEYWORDS:** associated crops, monoculture, fertilization, yield.

\*Correspondencia: [sabarrezueta@utmachala.edu.ec](mailto:sabarrezueta@utmachala.edu.ec)/Fecha de recepción: 26 de junio de 2018/Fecha de aceptación: 18 de junio de 2019/Fecha de publicación: 29 de julio de 2019

Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ciencias Agropecuarias, av. Panamericana km 5.5, Machala, Ecuador, C. P. 170517.

## INTRODUCCIÓN

El cultivo de *Theobroma cacao* L (cacao), es el tercer cultivar en importancia dentro del grupo de los commodities agrícolas, después del café y la caña de azúcar, a nivel mundial, y representa una fuente importante de ingresos económicos para los países en los que se cultiva (van-Vliet y col., 2015; Wanger y col., 2018). La mayor parte de los productores de cacao son agricultores, con granjas menores a 3.5 ha, bajo un manejo asociado con sombra de árboles frutales o forestales, sistema que incrementa la biomasa en el suelo y lo protege de la erosión (Hartemink, 2005; Fontes y col., 2014; Snoeck y col., 2016).

En la mayoría de los casos, el rendimiento del sistema asociado del cacao es inferior al manejo en monocultivo sin sombra, que necesita de fertilización química para mantener esta diferencia (Somarriba y Lachenaud 2013; Argüello-Navarro y col., 2016; Snoeck y col., 2016). Para Carr y Lockwood (2011) y Wanger y col. (2018), la fertilidad del suelo y el rendimiento del cacao está relacionada con el material parental del suelo, el clima (lluvia, temperatura, humedad), los usos anteriores del suelo, y por el grupo genético del cacao que se cultive.

En Ecuador, el cacao se cultiva bajo diferentes manejos, principalmente en las regiones costera y amazónica (Perez-Neira, 2016); en suelos de origen aluvial, con rangos de pH entre ácidos y alcalinos; así como, valores medios y altos de materia orgánica, que proporcionan alta variabilidad de macro y micro nutrientes (Moreno y col., 2016).

El principal grupo genético que se cultiva en el país es el cacao Nacional, reconocido a nivel internacional por su aroma y sabor (Ramlachan y col., 2009). Pero, desde la última década del siglo XX, en la provincia de El Oro, se ha incrementado la superficie plantada con el clon de cacao Colección Castro Naranjal 51 (CCN51). Sustitución que se origina por altos niveles de producción (> 2 000 kg/ha/a) con relación al tipo de cacao Nacional (< 800 kg/ha/a) y principalmente, se manejó en asocia-

ción (Ramlachan y col., 2009). Pero CCN51 tiene un alto requerimiento nutricional, porque se cultiva sin sombra y en altas densidades, factores que incrementan el uso de fertilizantes químicos y del recurso agua (Herrmann y col., 2015). Además, este cacao muestra un perfil de sabor más débil con respecto a Nacional, y por lo tanto, se comercializa como cacao a granel a menor precio (Herrmann y col., 2015; Ramírez-Huila y col., 2016).

Por otra parte, el cacao, tiene un peso importante en la economía de Ecuador y de la provincia de El Oro (Barrezueta-Unda y Chabla-Carrillo, 2017; Viteri-Salazar y col., 2018), por lo que, los resultados de las investigaciones sobre las propiedades de suelos, y la relación con el rendimiento, deben ser la base para la implementación de programas que incrementen la producción cacaotera y mantengan la fertilidad natural de los suelos.

El objetivo de este trabajo fue caracterizar las propiedades físicas y químicas de los suelos cacaoteros de cuatro municipios de la provincia de El Oro (Ecuador).

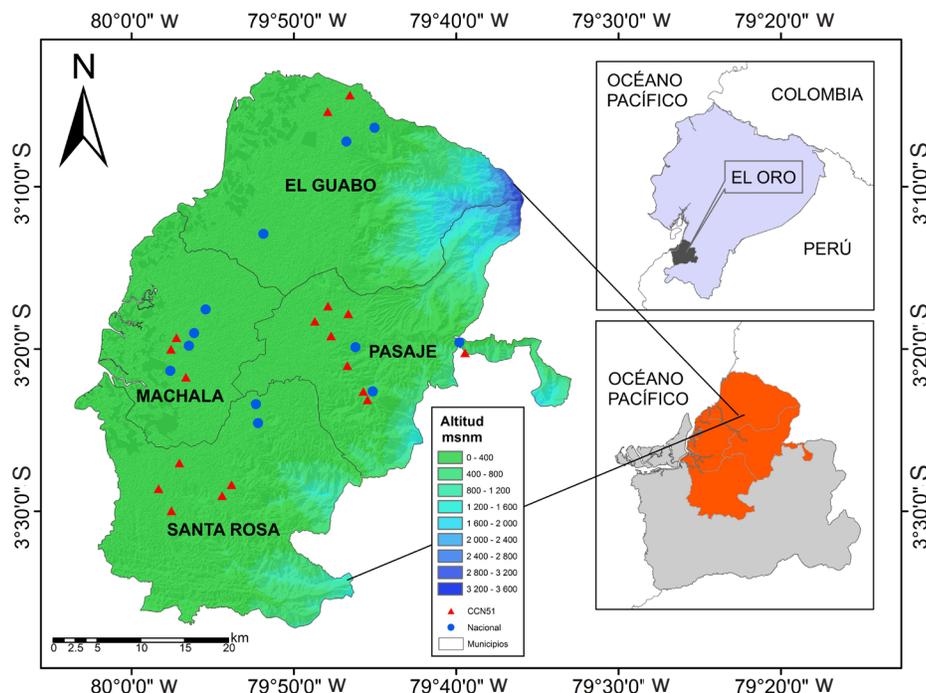
## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del área en estudio

Las granjas cacaoteras, donde se realizó el estudio, se localizan al noreste de la provincia El Oro, en la costa sur de Ecuador, principalmente en los municipios de: El Guabo, Machala, Pasaje y Santa Rosa (Figura 1). La precipitación promedio anual, entre los años 1975 al 2010, fue de 505 mm en El Guabo y Machala, y de 912 mm en Pasaje y Santa Rosa; y la temperatura media de 26 °C (Luna-Romero y col., 2018). El suelo es de origen aluvial, formado de material fluvial y marino, con predominio de las fracciones mineralógicas, limo y arena sobre la arcilla (Moreno y col., 2016).

### Descripción de las parcelas

Se seleccionaron para el estudio 30 parcelas al azar (1 ha a 3 ha de superficie cada una), ubicadas: cinco en El Guabo, siete en Machala, siete en Santa Rosa y 11 en Pasaje (Figura 1;



■ **Figura 1. Localización del área en estudio.**  
Figure 1. Location of the area under study.

Tabla 1). La muestra estuvo conformada por 18 parcelas bajo el sistema monocultivo y cultivadas con CCN51, y por 12 parcelas cultivadas con Nacional, en asociación con árboles de plátano y cítricos. La edad de las plantas fluctuó para CCN51 de 2 a 25 años y para Nacional de 4 a 80 años.

El arreglo de la densidad de plantas fue de 1 280 plantas/ha a 1 700 plantas/ha para CCN51, y de 800 plantas/ha a 1 100 plantas/ha para Nacional. En las parcelas de CCN51 se aplicaron riegos por inundación cada 15 d, solo en la época de verano; en el caso del cacao Nacional, los agricultores no mantenían una frecuencia de riego establecida.

Todas las parcelas tuvieron en común las labores de control mecánico de malezas cada dos meses, y podas de formación y sanitarias, con una frecuencia semestral. Las cosechas fueron mensuales para CCN51 y por temporadas (de agosto a octubre) para Nacional.

En el caso de la fertilización química, se realizó con frecuencia semestral (diciembre y abril). El fertilizante más utilizado fue la urea ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ), súper fosfato triple ( $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ) y muriato de potasio (KCl), como fuentes principales de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), respectivamente.

### Toma de muestras

El trabajo de campo se llevó a cabo entre julio y octubre de 2015. En cada parcela se tomó con una pala 5 submuestras de suelo disturbadas, de aproximadamente un 1 kg siguiendo un patrón en forma de W, a una distancia de 50 m entre submuestras, y a una profundidad de 0 cm a 30 cm. Al final del recorrido, se mezcló el suelo en un recipiente limpio, hasta obtener una muestra homogénea, de donde se extrajeron 0.5 kg por parcela. Las muestras fueron secadas al aire, bajo sol, por 96 h, homogenizadas y tamizadas con un tamiz con malla de 2 mm, para su posterior envío al laboratorio.

■ **Tabla 1. Características de las parcelas seleccionadas.**  
Table 1. Characteristics of the plots selected.

N°	Municipio	Coordenadas geográficas	Altitud	Orden de suelo	Tipo de cultivo <sup>1</sup>	Edad (años)	Color del suelo en seco
<b>Tipo de suelo: franco</b>							
1	El Guabo	3°4'47.43" S 79°47'19.74" W	6	Alfisol	CCN51	12	10YR7/3
2	El Guabo	3°4'47.43" S 79°47'5.34" W	1	Alfisol	Nacional	38	10YR7/3
3	El Guabo	3°4'45.59" S 79°47'1.59" W	6	Alfisol	CCN51	25	10YR7/4
4	El Guabo	3°4'45.59" S 79°46'52.01" W	6	Alfisol	Nacional	20	10YR7/4
5	El Guabo	3°23'18.37" S 79°52'19.92 W	9	Alfisol	Nacional	20	7,5YR4/6
6	Machala	3°19'13.04" S 79°57'13.82" W	11	Entisol	CCN51	10	10YR4/6
7	Machala	3°19'16.19" S 79°57'13.17" W	1	Entisol	Nacional	20	10YR3/6
8	Machala	3°19'30.98" S 79°57'18.82" W	1	Entisol	CCN51	4	10YR3/4
9	Machala	3°21'15.22" S 79°57'36.34" W	4	Entisol	Nacional	25	10YR4/6
10	Machala	3°21'19.81" S 79°57'31.11" W	4	Entisol	CCN51	6	10YR5/2
11	Machala	3°17'28.43" S 79°55'25.55" W	5	Entisol	Nacional	25	10YR4.5/4
12	Machala	3°18'55.94" S 79°56'8.22" W	5	Entisol	Nacional	40	10YR5/8
13	Santa Rosa	3°26'55.70" S 79°57'2.56" W	51	Entisol	CCN51	15	10YR7/6
14	Santa Rosa	3°28'56.64" S 79°54'24.87" W	21	Entisol	CCN51	4	10YR6/6
15	Santa Rosa	3°28'16.37" S 79°53'56.21" W	21	Entisol	CCN51	3	10YR6/8
16	Santa Rosa	3°28'36.37" S 79°58'20.48" W	24	Entisol	CCN51	5	10YR5/4
17	Santa Rosa	3°28'31.42" S 79°58'19.55" W	26	Entisol	CCN51	5	10YR5/6
18	Santa Rosa	3°23'19.11" S 79°52'19.01" W	9	Entisol	Nacional	30	10YR6/4
19	Santa Rosa	3°12'49.41" S 79°51'52.35" W	9	Entisol	Nacional	30	10YR6/3
<b>Tipo de suelo: franco arcilloso</b>							
20	Pasaje	3°4'56.59" S 79°47'38.55" W	7	Alfisol	CCN51	8	10YR6/2
21	Pasaje	3°17'54.16" S 79°47'35.73" W	15	Alfisol	CCN51	8	10YR5/6
22	Pasaje	3°17'48.76" S 79°47'35.73" W	26	Alfisol	CCN51	8	10YR5/3
23	Pasaje	3°18'1.25" S 79°47'34.46" W	24	Alfisol	CCN51	8	10YR5/2
24	Pasaje	3°22'34.42" S 79°45'11.47" W	134	Inceptisol	CCN51	10	10YR6/6
25	Pasaje	3°22'37.61" S 79°47'34.46" W	168	Inceptisol	CCN51	10	10YR5/8
26	Pasaje	3°22'31.42" S 79°45'8.46" W	187	Inceptisol	Nacional	60	10YR5/8
27	Pasaje	3°20'16.24" S 79°45'8.46" W	650	Inceptisol	Nacional	80	10YR5/6
28	Pasaje	3°20'17.08" S 79°39'40.92" W	703	Inceptisol	CCN51	2	10YR5/8
29	Pasaje	3°20'56.17" S 79°46'42.02 W	54	Inceptisol	CCN51	5	10YR5/6
30	Pasaje	3°20'36.19" S 79°46'41.01" W	90	Inceptisol	Nacional	4	10YR4/6

<sup>1</sup>CCN51: en monocultivo; Nacional: asociado con: *Musa acuminata*, *Citrus sinensis*, *Citrus limón*, *Citrus reticulata*.

**Determinación del tamaño de las partículas del suelo, superficie específica, carbono y nitrógeno elemental del suelo**

La determinación del tamaño de las partículas del suelo (arcilla, limo, arena), se realizó con

el método del picnómetro de Bouyoucus (Gilson SA-2, Middleton, USA), en el laboratorio de suelos de la Universidad Técnica de Machala, en la provincia de El Oro (Ecuador). Con los valores de arcilla, limo y arena, se cla-

sificaron los suelos por clases de textura, con el triángulo de textura (USDA-NRCS, 2014).

La superficie específica (SE) y las propiedades químicas de carbono (C) elemental y N elemental se realizaron en la Universidad de La Coruña (España). Para la SE, se usó un analizador de absorción de gas Micromeritics ASAP 2020 (serie Tristar II; Georgia, U.S.A) con N como gas adsorbente, y los resultados se expresaron en masa ( $\text{m}^3/\text{g}$ ). Los porcentajes de C y N fueron obtenidos en un analizador modelo Flash EA1112 (Thermo Finnigan, Colorado, U.S.A) a una temperatura de oxidación de  $1\ 020\ ^\circ\text{C}$ , con flujo de helio como gas de arrastre.

### Análisis de nutrientes del suelo

Las determinaciones analíticas del resto de propiedades químicas del suelo se realizaron en los laboratorios del Instituto Ecuatoriano de Investigación Agropecuaria del Ecuador y fueron:

La conductividad eléctrica (CE) se determinó mediante extracto de saturación y se leyó en conductivímetro Hi5222-1 (Hanna, Rumania).

El pH se evaluó en pasta de saturación en agua, con relación 1:2.5.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se obtuvo utilizando acetato de amonio ( $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ ) 1N pH 7.

Los niveles de P, K, cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn) y zinc (Zn), se determinaron usando el método propuesto por Olsen modificado a pH 8.5 (Olsen y Sommers, 1982). Los niveles de calcio (Ca) y Mg se obtuvieron a través de la extracción de KCl 1 N (USDA-NRCS, 2014).

Para la interpretación y comparación de los resultados de las propiedades físicas y químicas, se tuvo como criterio los niveles óptimos descritos por Amores y col. (2010) y Pico y col. (2012), para el cultivo del cacao en Ecuador (Tabla 2). En las parcelas incluidas en el

estudio, también se preguntó sobre el rendimiento anual del cacao ( $\text{kg}/\text{ha}/\text{a}$ ), con relación a la cosecha del último año. Consulta realizada a los productores o administrados de las fincas.

### Análisis estadístico

El análisis estadístico de las propiedades físicas, químicas, y de los rendimientos, consistió de una parte descriptiva (media y desviación estándar), de un análisis de varianza (ANOVA) al 5 % de significancia, y una prueba de Tukey ( $P < 0.05$ ), para determinar diferencias en los suelos. También se realizó una matriz de Pearson ( $P \leq 0.01^{**}$  y  $P < 0.05^*$ ), para establecer correlaciones en las propiedades de los suelos, y los rendimientos de las granjas cacaoteras por municipio. Todo el proceso se realizó con el *software* Paquete Estadístico para Ciencias Sociales, versión 24 (SPSS, por sus siglas en inglés: Statistical Package for the Social Sciences) (SPSS, 2013).

## RESULTADOS

Los valores de granulometría para los suelos fueron: arcilla, limo y arena, los cuales, permitieron clasificar a los suelos en las clases texturales franco (El Guabo, Machala y Santa Rosa) y franco arcilloso (Pasaje) (Tabla 1).

La SE, propiedad física del suelo relacionada con la absorción del agua y de nutrientes (Sarli y col., 1992), osciló entre  $8.61\ \text{m}^2/\text{g} \pm 4.14\ \text{m}^2/\text{g}$  (Machala) a  $13.5\ \text{m}^2/\text{g} \pm 4.20\ \text{m}^2/\text{g}$  (Santa Rosa) (Tabla 2). Valores que los clasifican como suelos altamente meteorizados ( $0\ \text{m}^2/\text{g}$  a  $14.00\ \text{m}^2/\text{g}$ ) y moderadamente meteorizados ( $15.00\ \text{m}^2/\text{g}$  a  $20.00\ \text{m}^2/\text{g}$ ); típicos de suelos tropicales (Fassbender y Bornemisza, 1987) y que pueden ocasionar problemas en la absorción del P por las plantas (López-Hernández y Bates Rondón, 2018).

Los niveles de C y N no mostraron diferencia entre municipios ( $P < 0.05$ ), como se observa en la Tabla 2. El valor de C en promedio, fue menor al óptimo para la producción de cacao ( $> 1.7\ \%$ ) en el El Guabo, pero superior en el resto de los municipios. El N en

los suelos de El Guabo y Machala obtuvieron una media de 0.16 % ± 0.03, valor que está por debajo del nivel óptimo para la producción de cacao (> 0.2 %), mientras en los suelos de Santa Rosa y Pasaje, el nivel de N, mostró alta variabilidad con medias de 0.18 % ± 0.13 y 0.18 % ± 0.10, respectivamente.

En general, todos los valores de CE estuvieron dentro del nivel óptimo (< 1 dS/m), pero los valores encontrados en Machala (0.21 dS/m ± 0.07 dS/m) fueron significativamente mayores (P < 0.05) que los de Santa Rosa (0.13 dS/m ± 0.06 dS/m) y Pasaje (0.13 dS/m ± 0.04 dS/m). Los valores de pH se ubicaron en promedio dentro del rango óptimo (5.1 a 7.0) para el desarrollo del cacao (Tabla 2), pero con una tendencia a la alcalinidad, particularmente en Machala, al analizar su desviación estándar.

Los valores promedio de CIC estuvieron por encima del rango bajo en el nivel óptimo (19.35 cmol/kg), pero los valores promedio de los suelos de Santa Rosa y Pasaje fueron

significativamente menores (P < 0.05). Sin embargo, se aprecia, por su desviación estándar, que algunos presentaron valores por debajo del óptimo (Tabla 2).

El contenido de P varió ampliamente en los suelos analizados. Aunque se observa que no existió diferencia (P < 0.05) entre municipios, pese a que El Guabo tuvo los suelos con menor contenido (11.98 mg/kg ± 13.14 mg/kg), y Pasaje los más altos (56.11 mg/kg ± 86.71 mg/kg), mostrando que existió una gran variabilidad de este nutriente (Tabla 2). El contenido de K fue mayor (P ≤ 0.05) en el municipio de Machala (1.86 mg/kg ± 0.93 mg/kg), por encima del nivel óptimo (0.2 cmol/kg a 1.2 cmol/kg). En tanto que, en los suelos de Santa Rosa (0.31 cmol/kg ± 0.47 cmol/kg) y Pasaje (0.42 cmol/kg ± 0.43 cmol/kg), este nutriente se encontraba muy cercano al rango inferior dentro del nivel óptimo.

En general, el Ca, Mg, Cu y Zn estuvieron por encima del nivel óptimo (Tabla 2). El Ca, os-

■ **Tabla 2. Análisis estadístico de las propiedades físicas y químicas de los suelos cacaoteros en la provincia de El Oro (Ecuador).**

Table 2. Statistical analysis of the physical and chemical properties of cocoa soils in the province of El Oro (Ecuador).

Propiedades	El Guabo	Machala	Santa Rosa	Pasaje	Óptimo
SE (m <sup>2</sup> /g)	9.69 ± 3.67 a	8.61 ± 4.14 a	13.5 ± 4.20 a	11.43 ± 4.36 a	No definido
C (%)	1.58 ± 0.26 a	1.81 ± 0.29 a	2.06 ± 1.66 a	1.87 ± 1.09 a	>17
N (%)	0.16 ± 0.03 a	0.16 ± 0.03 a	0.18 ± 0.13 a	0.18 ± 0.10 a	0.2 a 0.4
CE (dS/m)	0.14 ± 0.03 ab	0.21 ± 0.07 b	0.13 ± 0.06 a	0.13 ± 0.04 a	< 1.00
pH	6.81 ± 1.02 ab	7.72 ± 0.42 b	6.83 ± 0.72 ab	6.46 ± 1.00 a	5.1 a 7.0
C.I.C (cmol/kg)	33.4 ± 2.95 ab	43.86 ± 8.00 b	26.26 ± 13.37 a	23.40 ± 9.60 a	19.35 a 30
P (mg/kg)	11.98 ± 13.14 a	21.17 ± 15.23 a	29.9 ± 27.57 a	56.11 ± 86.71 a	12.0 a 25.0
K (cmol/kg)	0.34 ± 0.59 a	1.86 ± 0.93 b	0.31 ± 0.47 a	0.42 ± 0.43 a	0.2 a 1.2
Ca (cmol/kg)	27.62 ± 8.21 ab	37.73 ± 10.99 b	26.67 ± 12.35 ab	19.99 ± 13.10 a	4.0 a 18.0
Mg (cmol/kg)	4.44 ± 1.80 a	4.59 ± 1.50 a	3.42 ± 1.14 a	4.07 ± 3.48 a	0.9 a 4.0
Cu (mg/kg)	12.32 ± 6.12 ab	7.37 ± 0.53 a	16.6 ± 5.67 b	9.23 ± 5.06 a	1.8 a 5.9
Zn (cmol/kg)	4.72 ± 0.39 a	5.83 ± 0.82 a	10.36 ± 4.94 a	9.22 ± 6.14 a	0.5 a 2.2

<sup>ab</sup>Letras distintas indican significancia (P < 0.05); \*Valores óptimos del cultivo de cacao.

ciló entre 19.99 cmol/kg  $\pm$  13.10 (Pasaje) y 37.73 cmol/kg  $\pm$  1.099 (Machala). Los valores de Mg fueron muy ajustados, mostrando un rango de 3.42 cmol/kg  $\pm$  1.14 cmol/kg (Santa Rosa) a 4.59 cmol/kg  $\pm$  1.50 cmol/kg (Machala). El Cu osciló entre 7.37 mg/kg  $\pm$  0.53 mg/kg (Machala) y 16.6 mg/kg  $\pm$  5.67 mg/kg (Santa Rosa). En el caso del Zn, se observa una diferencia numérica pero no estadística, entre los suelos de El Guabo (4.72 cmol/kg  $\pm$  0.39 cmol/kg) y Machala (5.83 cmol/kg  $\pm$  0.82 cmol/kg), con respecto a los suelos de Santa Rosa (10.36 cmol/kg  $\pm$  4.94 cmol/kg) y Pasaje (9.22 cmol/kg  $\pm$  6.14 cmol/kg).

Los valores de rendimiento anual mostraron diferencia para el tipo de cacao ( $P < 0.05$ ) pero no entre municipios para el cacao Nacional (Tabla 3). El rendimiento de cacao fue superior en CCN51, con el registro más alto en los suelos de El Guabo (4 158.34 kg/ha/a  $\pm$  200.34 kg/ha/a), y el más bajo significativamente para Santa Rosa (2 570.24 kg/ha/a  $\pm$  1 051.05 kg/ha/a). Los promedios de Nacional tuvieron el valor más alto en Machala (814.17 kg/ha/a  $\pm$  598.72 kg/ha/a), y el más bajo en Pasaje (324.00 kg/ha/a  $\pm$  297.06 kg/ha/a).

En la Tabla 4 se muestra la matriz de correlación de Pearson para los diferentes parámetros físicos y químicos de los suelos, y su asociación con el rendimiento de los cultivos de cacao. No se muestran valores de correlación para los cultivos obtenidos en El Guabo (CCN51) y Santa Rosa (Nacional), por tener solo dos poblaciones muestreadas en esos mu-

nicipios. El rendimiento de CCN51 presentó una correlación positiva con la cantidad de magnesio disponible en el suelo, pero esta solo fue significativa al analizar en forma global todos los suelos ( $r = 0.60$ ;  $P < 0.01$ ). En el cultivo Nacional, en el municipio de Pasaje, se encontró una relación negativa significativa entre el rendimiento y el valor de CE ( $r = -0.99$ ;  $P < 0.01$ ), Cu ( $r = -0.99$ ;  $P < 0.05$ ) y Zn ( $r = -0.99$ ;  $P < 0.05$ ), lo que sugiere que, en dicha región, un excedente de esta propiedad fisicoquímica y nutrientes puede ser una limitante en la producción de cacao.

## DISCUSIÓN

### Características de las propiedades físicas de los suelos analizados

La granulometría mostró que los suelos estudiados pertenecen al orden de alfisol, entisol e inceptisol con un contenido de arena superior en todos los suelos (Moreno y col., 2016). El contenido de arena fue superior en todos los suelos, pero en conjunto el limo+arcilla representó entre 57 % y 63.77 % (datos no observados), lo que indica una textura fina, adecuada para la producción de cacao, porque facilita la capacidad de retener mayor humedad (van-Vliet y col., 2015). Esto es importante, ya que el promedio de precipitación anual, en especial para El Guabo y Machala es bajo ( $\leq 505$  mm).

El rango de SE (Tabla 2), está dentro del intervalo descrito por algunos investigadores ( $< 20$  m<sup>2</sup>/g), para suelos con arcilla tipo caolinita, muy cristalizada y poco expansiva (Ruiz

### ■ Tabla 3. Análisis estadístico de rendimientos de las fincas cacaoteras por municipios productores de cacao de la provincia El Oro (Ecuador).

Table 3. Statistical Analysis of cocoa farms' yields by cocoa-producing municipalities of the province of El Oro (Ecuador).

Municipios	Nacional (kg/ha/a)	CCN51 (kg/ha/a)
El Guabo	469.31 $\pm$ 419.35 <sup>aA</sup>	4 158.34 $\pm$ 200.34 <sup>aB</sup>
Machala	814.17 $\pm$ 598.72 <sup>aA</sup>	3 650.00 $\pm$ 1 068.88 <sup>abB</sup>
Santa Rosa	496.16 $\pm$ 52.56 <sup>aA</sup>	2 570.24 $\pm$ 1 051.05 <sup>bB</sup>
Pasaje	324.00 $\pm$ 297.06 <sup>aA</sup>	3 865.83 $\pm$ 1 631.54 <sup>abB</sup>

<sup>ab</sup>Letras distintas indican diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) entre municipios (columnas) para un mismo tipo de cacao.

<sup>A<sup>B</sup></sup>Letras distintas indican diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) entre tipos de cacao (filas), para un mismo municipio.

■ Tabla 4. Matriz de correlación de Pearson entre el rendimiento de las fincas cacaoteras y las propiedades físicas y químicas de los suelos cultivados con cacao en la provincia de El Oro (Ecuador).  
Table 4. Correlation Matrix of Pearson between the yield of the cocoa farms and the physical and chemical properties of the soils cultivated with cocoa in the province of El Oro (Ecuador).

CCN51					
Propiedades	El Guabo	Machala	Santa Rosa	Pasaje	Total
Arcilla	---	-0.28	-0.01	0.26	0.26
Limo	---	-0.28	0.67	0.19	0.12
Arena	---	0.28	-0.44	-0.55	-0.33
SE	---	0.03	0.23	-0.03	-0.08
C	---	0.83	0.69	-0.42	-0.05
N	---	-0.36	0.69	-0.54	-0.11
CE	---	-0.78	-0.67	-0.32	-0.14
pH	---	-0.82	0.71	0.43	0.33
CIC	---	-0.23	0.70	0.06	0.23
P	---	0.22	0.38	-0.09	0.03
K	---	-0.89	0.50	-0.13	-0.01
Ca	---	-0.29	0.79	0.24	0.26
Mg	---	0.36	0.70	0.60	0.60**
Cu	---	-0.43	0.74	0.01	-0.14
Zn	---	-0.93	-0.41	0.01	-0.17
Nacional					
Propiedades	El Guabo	Machala	Santa Rosa	Pasaje	Total
Arcilla	-0.01	0.86	---	0.73	0.36
Limo	-0.90	-0.70	---	0.12	-0.34
Arena	0.58	0.19	---	-0.62	-0.05
SE	1.00	-0.83	---	0.99	-0.04
C	0.99	0.84	---	-0.57	0.09
N	0.90	0.51	---	-0.54	0.04
CE	-0.31	-0.42	---	-0.99**	-0.09
pH	-0.34	-0.82	---	-0.86	-0.05
CIC	0.96	-0.77	---	-0.46	0.17
P	-0.56	0.49	---	-0.54	-0.30
K	-0.42	-0.57	---	-0.51	0.02
Ca	0.38	0.12	---	-0.74	0.24
Mg	-0.52	-0.26	---	-0.21	-0.05
Cu	-0.34	-0.70	---	-0.99*	-0.47
Zn	-0.14	0.60	---	-0.99*	-0.31

\*P < 0.05.

y col., 2016; López-Hernández y Bates-Rondón, 2018). Los suelos constituidos de caolinita como arcilla principal, contribuyen a una buena estructura física, que facilita la absorción de nutrientes (Fassbender y Bornemisza, 1987).

Por otro lado, Fournier y col. (2002) señalan que los valores de SE entre 1 m<sup>2</sup>/g a 20 m<sup>2</sup>/g, son tipos de suelos con altos contenidos de ma-

teria orgánica, debido a que esta se adhiere a las partículas de arcilla, disminuyendo la SE externa del suelo al rango de la materia orgánica. Entonces, la entrada constante de carbono orgánico a los suelos provista por la hojarasca de las plantas de cacao (Ramírez-Huila y col., 2016), tanto en CCN51, como en Nacional, pudo incidir en los valores de SE determinados en el estudio.

### Características de las propiedades químicas de los suelos analizados

Los suelos, en general, mostraron niveles altos de C. En parte, por la capa de hojarasca y de otros residuos (mazorca, ramas, raíces) en el suelo, que incrementa los valores de C, así como la biomasa que aporta la vegetación asociada (Puentes-Páramo y col., 2014; van-Vliet y col., 2015), principalmente en Nacional. También la lenta mineralización del C, en plantaciones de cacao > 30 años, incide en niveles más altos del C (Fassbender y Bornemisza, 1987). Esto pudo apreciarse en Pasaje, donde sus suelos de textura franco arcillosa (Tabla 1), presentaron altas concentraciones de C (Tabla 2), asociadas probablemente con el hecho de ser cultivos de cacao con mayor edad, de acuerdo con los datos proporcionados por los agricultores (Tabla 1).

El N es el principal nutriente del ecosistema del cacao y está muy interrelacionado con el K en la acción fisiológica del llenado de las mazorcas (Hartemink, 2005). En esta investigación, todos los niveles de N fueron bajos, al igual que el nivel K en Santa Rosa, hecho que pudo afectar el rendimiento del cacao CCN51 en estos suelos (Tabla 3). Un estudio previo reportó que las pérdidas de N, en el llenado de la mazorca (28 kg a 87 kg de N en 1 000 kg de almendra seca) (Zaia y col., 2012; Furcal-Beriguete, 2016), no se compensó con el aporte de la hojarasca (56.45 kg de N/a) (Ramírez-Huila y col., 2016), siendo necesario el reingreso de las mazorcas o complementar con abonos nitrogenados. Otro factor que incide en los valores de N, es la rápida mineralización de este elemento en suelos tropicales, por efectos de la humedad y temperatura, que dificultan tener niveles altos de  $\text{NH}_4$  y  $\text{NO}_2$ ; que son las formas asimilables de N en el suelo (Fassbender y Bornemisza, 1987).

La significancia ( $P < 0.05$ ) obtenidas para CE, pH, CIC y Ca, entre los suelos de Machala con el resto de suelos (Tabla 2), sugieren una relación directa entre estas propiedades, también reportada por Brito y col. (2019), en suelos ca-

caoteros en Tabasco (México). La desviación estándar del pH, en Santa Rosa ( $6.83 \pm 0.72$ ), El Guabo ( $6.81 \pm 1.02$ ) y Pasaje ( $6.46 \pm 1.00$ ) indican que algunas muestras son ligeramente ácidas, lo que disminuye los valores de CE. Mientras que los valores alrededor del pH 7 a pH 7.5, están relacionados a niveles de CIC altos, como se observó en los suelos de Machala. Similar tendencia registró González-Gordon y col. (2018); y Argüello y col. (2019), en suelos cacaoteros bajo monocultivo y agroforestal, en Ecuador y Colombia, respectivamente.

La alta variabilidad observada entre la media y la desviación estándar del P, K, Ca y Mg en especial de los suelos de Pasaje, indica que dichos elementos pueden estar en un desbalance nutricional en algunas fincas (González-Gordon y col., 2018). Esto se debe al nivel alto del K, que tiene predominio sobre los cationes Ca y Mg, lo que resulta desfavorable para el crecimiento del cacao; así como, el P, que en altas cantidades puede tener efectos sobre la absorción del K por las plantas (Snoeck y col., 2016). Por otra parte, los niveles de P en los suelos cacaoteros es escaso, pero cuando se aplica en forma de fertilizantes fosfatados los niveles pueden incrementarse (Hartemink, 2005), aunque el alto nivel de P en Pasaje ( $56.11 \text{ mg/kg} \pm 86.71 \text{ mg/kg}$ ) podría deberse al material parental (roca fosfórica). En el caso del Mg, este nutriente toma una relación inversa con el contenido de arena (Aikpokpodion, 2010), como se observó en Santa Rosa, en donde se reporta el menor valor de Mg ( $3.42 \text{ cmol/kg} \pm 1.14 \text{ cmol/kg}$ ) que presentó un alto contenido de arena (42.60 %).

Los suelos de El Guabo y Santa Rosa mostraron promedios altos de Cu, valores que se relacionan con un pH próximo a 7. Investigaciones realizadas por Villaseñor y col. (2015), también reportan niveles altos de Cu en la zona, producto del material parental altamente meteorizado.

Snoeck y col. (2016) encontraron una relación entre el pH ligeramente ácido (pH 6 a 7) y la

disponibilidad de Zn, lo cual se pudo apreciar en los suelos de Santa Rosa y Pasaje (Tabla 2), sin embargo, esto no sucedió en El Guabo, con suelos ligeramente ácidos, pero baja disponibilidad de Zn, por lo que deben existir factores adicionales a considerar en esa relación.

### Rendimiento

El rendimiento del cacao CCN51 (rango, 2 570.24 kg/ha/a  $\pm$  1 051.05 kg/ha/a a 4 158.34 kg/ha/a  $\pm$  200.34 kg/ha/a), fueron altos con respecto a los datos presentados por Ramlachan y col. (2009) y Sánchez-Mora y col. (2015), en la costa ecuatoriana (1 047.7 kg/ha/a y 1 301 kg/ha/a, respectivamente), y a los obtenidos en Colombia (2 020 kg/ha/a) y Camerún (967 kg/ha/a) reportados por Magne y col. (2014) y Puentes-Páramo y col. (2014), respectivamente; rendimientos que fueron obtenidos en parcelas experimentales. En el caso de esta investigación, los valores de rendimientos fueron obtenidos mediante consulta a los agricultores, pudiendo en algunos casos sobrestimar el valor de la cosecha.

El rendimiento de cacao Nacional, en el rango de 324 kg/ha/a a 814.17 kg/ha/a, se encuentra dentro del promedio mundial (480 kg/ha/a) para cacao en general (Sánchez-Mora y col., 2013) y concuerda con lo reportado por Ramlachan y col. (2009) de 589.50 kg/ha/a, aunque podría ser bajo, respecto a lo reportado por Sánchez-Mora y col. (2015) de 751 kg/ha/a a 878.90 kg/ha/a en Ecuador. La alta variabilidad presentada en los rendimientos también se obtuvo en otras investigaciones (Ramlachan y col., 2009; Deheuvels y col., 2012; Magne y col., 2014; Sánchez-Mora y col., 2015), y se relaciona con el nivel de exposición solar, la interacción de los tipos de cacao con las condiciones climáticas y la alta heterogeneidad entre la edad de las plantas.

La amplia gama de suelos en los que se cultivan los árboles de cacao, implica, obviamente, variaciones en la disponibilidad de nutrientes, en especial de los macro elementos, lo que influye en el rendimiento del cacao (Snoeck y

col., 2016 y Takoutsing y col., 2016). Un excedente en la concentración de los nutrientes y la presencia de pH ligeramente ácido que aumente su biodisponibilidad, pueden incrementar el rendimiento del cultivo (Puentes-Páramo y col., 2014; Rosas-Patiño y col., 2017; Yulianti y col., 2018), o como en este estudio, afectarlo negativamente.

### CONCLUSIONES

En general, las características de los suelos cacaoteros de la provincia de El Oro fueron suelos de textura fina, niveles altos de C y CIC, valores dentro del nivel óptimo de CE y bajo nivel de N. Los promedios del resto de los nutrientes sobrepasaron el nivel óptimo establecido para cacao, pero mostraron alta variabilidad, relacionada con el pH del suelo. Los suelos de El Guabo y Machala, en general, mostraron características químicas diferentes a los de Santa Rosa y Pasaje. Sin que implique que los niveles de fertilidad sean deficientes. Los rendimientos entre los tipos de cacao fueron muy superiores en CCN51. En Nacional, el rendimiento se ajustó a los promedios del Ecuador. Los suelos de Machala presentaron mayor contenido de nutrientes asociados con mayor rendimiento. La diferencia en los rendimientos, no se pueden atribuir a las propiedades físicas que fueron las adecuadas para el cultivo. Se mostró un desbalance entre el N, P, K, Ca y Mg, que incidió para que en algunas granjas los rendimientos sean muy bajos.

### AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen a las autoridades de la Universidad Técnica de Machala por financiar la investigación, la cual, es parte del proyecto “Estimación del secuestro de carbono en suelos cultivados de la Parroquia El Progreso. Pasaje-Ecuador”, con número 294/2017 UTMach.

## REFERENCIAS

- Aikpokpodion, P. E. (2010). Nutrients dynamics in cocoa coils, leaf and beans in Ondo State, Nigeria. *Journal of Agricultural Sciences*. 1(1):1–9.
- Amores, F., Suárez, C. y Garzón, I. (2010). Producción intensiva de cacao nacional con sabor “arriba”: tecnología, presupuesto y rentabilidad. Guayaquil, Ecuador: INIAP. 13-14. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/1630>. Fecha de consulta: 11 de junio de 2019.
- Argüello, D., Chavez, E., Laurysen, F., Vanderschueren, R., Smolders, E., and Montalvo, D. (2019). Soil properties and agronomic factors affecting cadmium concentrations in cacao beans: A nationwide survey in Ecuador. *Science of the Total Environment*. 649. 120–127.
- Argüello-Navarro, A., Soler, N. y Moreno-Rozo, L. (2016). Cuantificación de bacterias diazotrofas aisladas de suelos cacao-teros (*Theobroma cacao* L.), por la técnica de Número Más Probable (NMP). *Revista Colombiana de Biotecnología*. 18(2): 40–47.
- Barrezueta-Unda, S. y Chabla-Carrillo, J. (2017). Características sociales y económicas de la producción de cacao en la provincia El Oro. *Revista La Técnica*. 25–34.
- Brito, H., Salaya-Domínguez, J. M., Gómez-Méndez, E., Gómez-Vázquez, A., and Antele-Gómez, J. B. (2019). Physico-chemical Properties of Soil and Pods (*Theobroma cacao* L.) in Cocoa Agroforestry Systems. *Journal of Agronomy*. 17: 48–55.
- Carr, M. K. V. and Lockwood, G. (2011). The water relations and irrigation requirements of cocoa (*Theobroma cacao* L.): A review. *Experimental Agriculture*. 47(4): 653–676.
- Deheuvels, O., Avelino, J., Somarriba, E., and Malezieux, E. (2012). Vegetation structure and productivity in cocoa-based agroforestry systems in Talamanca, Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 149: 181–188.
- Fassbender, H. y Bornemisza, E. (1987). *Química de suelos: con énfasis en suelos de América Latina (II)*. Turrialba, Costa Rica: IICA. 134-148 Pp.
- Fontes, A. G., Gama-Rodrigues, A. C., Gama-Rodrigues, E. F., Sales, M. V. S., Costa, M. G., and Machado, R. C. R. (2014). Nutrient stocks in litterfall and litter in cocoa agroforests in Brazil. *Plant and Soil*. 383(1–2): 313–335.
- Fournier, L., Filgueira, R., Sikora, L., Rawls, W. y Pachepsky, Y. (2002). Superficie específica de un Hapludult típico. Efectos de la aplicación de materia orgánica. *Ciencias del Suelo*. 20(2): 118–121.
- Furcal-Beriguete, P. (2016). Extracción de nutrientes por los frutos de cacao en dos localidades en Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*. 28(1): 113.
- González-Gordon, R., Alvares-Albanes, E. y Castañeda-Sánchez, D. (2018). Evaluación de la calidad química del suelo en agroecosistemas cacao-teros de la subregión del Nordeste y Urabá Antioqueño Resumen Introducción. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*. 5(1): 41–52.
- Hartemink, A. E. (2005). Nutrient stocks, nutrient cycling, and soil changes in cocoa ecosystems: a review. *Advances in agronomy*. 86: 227-253.
- Herrmann, L., Felbinger, C., Haase, I., Rudolph, B., Biermann, B., and Fischer, M. (2015). Food Fingerprinting: Characterization of the Ecuadorean Type CCN-51 of *Theobroma cacao* L. Using Microsatellite Markers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 63(18): 4539–4544.
- López-Hernández, D. y Bates-Rondón, J. (2018). Áreas superficiales específicas y parámetros asociados en suelos venezolanos con diferentes grados de pedogénesis. *Revista de La Facultad de Agronomía*. 35: 270–292.
- Luna-Romero, A., Ramírez, I., Sánchez, C., Conde, J., Agurto, L., and Villaseñor, D. (2018). Spatio-temporal distribution of precipitation in the Jubones river basin, Ecuador: 1975-2013. *Scientia Agropecuaria*. 9(1): 63–70.
- Magne, A., Nonga, N., Yemefack, M., and Robiglio, V. (2014). Profitability and implications of cocoa intensification on carbon emissions in Southern Cameroun. *Agroforestry Systems*. 88(6): 1133–1142.
- Moreno, J., Sevillano, G., Valverde, O., Loayza, V., Haro, R., and Zambrano, J. (2016). Soil from the Coastal Plane. In J. Espinosa, J. Moreno, and G. Bernal (Eds.), *The Soils of Ecuador* (pp. 1–195). Cham, Switzerland: Springer International Publishing.
- Olsen, S. y Sommers, L. (1982). Phosphorous. In *Methods of Soil Analysis*. In S. R. Olson and L. E. Sommers (Eds.). *Dynamics of Vegetation and Soils of Oak/saw Palmetto Scrub After Fire: Observations from Permanent Transects* (pp. 403–430). Madison: American Society of Agronomy.
- Perez-Neira, D. (2016). Energy sustainability of ecuadorian cacao export and its contribution to climate change. A case study through product life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*. 112: 2560–2568.
- Pico, J., Calderón, D., Fernández, F. y Díaz, A. (2012). *Guía del manejo integrado de enfermedades del cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) en la amazonia*. INIAP. Guayaquil, Ecuador. 12-15 Pp.
- Puentes-Páramo, Y., Menjivar-Flores, J., Gómez-Carabalí, A. y Aranzazu-Hernández, F. (2014). Absorción y distribución de nutrientes en clones de cacao y sus efectos en el rendimiento. *Acta Agronómica*. 63(2): 145–152.
- Ramírez-Huila, G., Torres-Navarrete, E., Cruz-Rosero, N., Barrera-Álvarez, A., Alava-Ormaza, S. y Jiménez-Águilar, M. (2016). Biomasa de hojas caídas y otros indicadores en asociaciones de especies forestales con cacao “CCN51” en la zona central del litoral ecuatoriano. *Ciencia y Tecnología*. 9(2): 4–6.
- Ramlachan, N., Agama, J., Amores, F., Quiroz, J., Vaca, D., Zamora, C., ..., and Motamayor, J. C. (2009). Regional Selec-

- tion of Hybrid Nacional Cocoa Genotypes in Coastal Ecuador. Costa Rica. [En línea]. Disponible en: <http://ingenic.cas.psu.edu/documents/publications/News/Ramlachan12.pdf>. Fecha de consulta: 11 de junio de 2019.
- Rice, R. A. and Greenberg, R. (2000). Cacao Cultivation and the Conservation of Biological Diversity. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*. 29(3): 167–173.
- Rosas-Patiño, G., Puentes-Páramo, Y. y Menjívar-Flores, J. (2017). Relación entre el pH y la disponibilidad de nutrientes para cacao en un entisol de la Amazonia colombiana. *Corpoica Ciencia Tecnología Agropecuaria*. 18(3): 529–541.
- Ruiz, H., Sarli, O., Goncalves, C., Fliquero, R. y Silva de Souza, F. (2016). La superficie específica de oxisoles y su relación con la retención hídrica. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias de La Universidad del Cuyo*. 48(2): 95–105.
- Sánchez-Mora, F., Medina-Jara, M., Díaz-Coronel, G., Ramos-Remache, R., Vera-Chang, J., Vásquez-Morán, V., ... y Onofre-Nodari, R. (2015). Potencial sanitario y productivo de 12 clones de cacao en Ecuador. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 38(3): 265–274.
- Sánchez-Mora, F., Zambrano, J., Vera, J., Ramos, R., Gárces, F. y Vásconez, G. (2013). Productividad de clones de cacao tipo nacional en una zona del bosque húmedo tropical de la provincia de Los Ríos, Ecuador. *Ciencia y Tecnología*. 7(1): 33–41.
- Sarli, G., Piro, A. y Filgueira, R. (1992). Puesta a punto de un método para medir superficie específica de suelos. *Ciencia del Suelo*. 10: 86–66.
- Snoeck, D., Koko, L., Joffre, J., Bastide, P., and Jagoret, P. (2016). Cacao nutrition and fertilization. In E. Lichtfouse (Ed.), *Sustainable Agriculture Reviews* (pp. 1–34). Montpellier, France: Springer International Publishing.
- Somarrriba, E. and Lachenaud, P. (2013). Successional cocoa agroforests of the Amazon–Orinoco–Guiana shield. *Forests, Trees and Livelihoods*. 22(1): 51–59.
- SPSS, Statistical Package for the Social Sciences (2013). SPSS Statistics for Windows. Chicago, IL, USA: IBM Corp. [En línea]. Disponible en: <https://www.ibm.com/us-en/marketplace/spss-predictive-analytics-enterprise>. Fecha de consulta: 11 de mayo de 2018.
- Takoutsing, B., Weber, J. C., Tchoundjeu, Z., and Shepherd, K. (2016). Soil chemical properties dynamics as affected by land use change in the humid forest zone of Cameroon. *Agroforestry Systems*. 90(6): 1089–1102.
- USDA-NRCS (2014). Soil Survey Investigations Report. In R. Burt (Ed.), *Kellogg Soil Survey Laboratory Methods Manual* (pp. 58–498). Lincoln, Nebraska: USDA-NRCS.
- van-Vliet, J., Slingerland, M., and Giller, K. (2015). Mineral Nutrition of Cocoa. Wageningen, Netherlands: Wageningen University and Research Centre. 7–30 Pp.
- Villaseñor, D., Chabla, J. y Luna, E. (2015). Caracterización física y clasificación taxonómica de algunos suelos dedicados a la actividad agrícola de la provincia del El Oro. *Cumbres*. 1(2): 28–34.
- Viteri-Salazar, O., Ramos-Martín, J., and Lomas, P. L. (2018). Livelihood sustainability assessment of coffee and cocoa producers in the Amazon region of Ecuador using household types. *Journal of Rural Studies*. 62: 1–9.
- Wanger, T. C., Hölscher, D., Veldkamp, E., and Tschardt, T. (2018). Cocoa production: Monocultures are not the solution to climate adaptation—Response to Abdulai et al. 2017. *Global Change Biology*. 24(2): 561–562.
- Yulianti, T., Abdoellah, S., Suprayogo, D., and Sari, N. P. (2018). Cocoa Production as Affected by Shade Tree Species and Soil Quality. *Pelita Perkebunan*. 34(2): 80–89.
- Zaia, F. C., Gama-Rodrigues, A. C., Gama-Rodrigues, E. F., Moço, M. K. S., Fontes, A. G., Machado, R. C. R., and Baligar, V. C. (2012). Carbon, nitrogen, organic phosphorus, microbial biomass and N mineralization in soils under cacao agroforestry systems in Bahia, Brazil. *Agroforestry Systems*. 86(2): 197–212.