



Evaluación de la calidad química del suelo en agroecosistemas cacaoteros de la subregión del Nordeste y Urabá Antioqueño

Evaluation of soil chemical quality in cocoa agroecosystems in the sub-region of Northeast and Uraba Antioquia

Roberto Antonio González Gordon¹, Eddie Yacir Alvares Albanes², Dario Antonio Castañeda Sánchez³

Recibo: 01.02.2018 Aceptado: 02.05.2018

Gonzalez, R., Alvares, E. y Castañeda, D. (2018). Evaluación de la calidad química del suelo en agroecosistemas cacaoteros de la subregión del Nordeste y Urabá Antioqueño. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 5(1), 41-52. doi:<http://dx.doi.org/10.23850/24220582.730>

Resumen

Con la finalidad de generar una estrategia de manejo agronómico del cultivo del cacao en dos subregiones del departamento de Antioquia (Urabá y Nordeste), se seleccionaron para cada una de ellas 20 y 23 fincas respectivamente. En cada finca se evaluaron 14 variables químicas, comportamiento de elementos mayores y menores, y tres variables físicas (arena, limo y arcilla). Estas variables se usaron para evaluar la fertilidad del suelo y de acuerdo con el estado de cada una de ellas se generó una propuesta de manejo integral. Se encontró que los suelos de la subregión del Nordeste son poco fértiles con respecto a los de Urabá, dado que presentaron baja capacidad de intercambio catiónico efectiva, bases, alta acidez intercambiable y contenido de hierro. En el caso de los elementos menores, los suelos de la subregión de Urabá mostraron un mejor equilibrio ubicándose en el nivel medio, mientras que en el Nordeste sus contenidos se ubicaron en diferentes niveles, según los reportes de la literatura. En cuanto al manejo agronómico, es recomendable la aplicación de cal en los suelos del Nordeste debido a la alta saturación de aluminio. Además, dado el bajo contenido de bases intercambiables, es necesaria la aplicación de fuentes con calcio y magnesio disponibles para la nutrición de las plantas, mientras que en Urabá el suelo presenta reservas suficientes de estos elementos.

Palabras clave: *Theobroma cacao* L., nutrición, productividad, fertilización

¹Servicio Nacional de Aprendizaje SENA; roagonzalezgo@unal.edu.co; Colombia

²Universidad Nacional de Colombia; eyalvareza@unal.edu.co; Colombia

³Universidad Nacional de Colombia – Medellín. Grupo de investigación Fitotecnia Tropical; dacasta4@unal.edu.co; Colombia

Abstract

In order to generate a strategy for managing the cultivation of cocoa in the sub-regions of the department of Antioquia (Uraba and Northeast), it was selected for each of the class 20 and 23 farms respectively. In each farm 14 chemical variables were evaluated, with major and minor elements, and three physical variables (sand, silt and clay). These variables are used to evaluate the fertility of the soil and the agreement with the state of each of them generates a general comprehensive management proposal. We found the soils of the Northeast sub-region are not very fertile with respect to the soils of Uraba, as well as the soils of the Northeast that have low capacity of effective cation exchange, bases, high interchangeable acidity and iron content. In the case of the minor elements, the soils of the sub-region of Uraba represent a balance at the medium level, while in the Northeast, their contents are located at different levels, according to literature reports. In terms of agronomic management, it is advisable to apply lime to the soils of the Northeast due to the high saturation of aluminum. In addition, given the low content of interchangeable bases, it is necessary to apply sources with calcium and magnesium available for plant nutrition, while in Uraba soil is presented as a reserve of these elements.

Keywords: *Theobroma cacao* L, nutrition, productivity, fertilization.

Introducción

El cultivo del cacao se enmarca en un sistema agroforestal, se cultiva conjuntamente con otras especies vegetales, principalmente con el café, el plátano, los frutales y los maderables, los cuales al mismo tiempo le producen sombra al cacao, le permiten al agricultor tener otras alternativas de ingresos. Los sistemas de este tipo se caracterizan por conservar el suelo y el ambiente, en la medida en que son grandes generadores de biomasa con la capacidad de capturar CO₂ y eficientes liberadores de oxígeno (Martínez y Ortiz, 2005).

En el ámbito nacional, la cadena productiva de cacao – chocolate aporta el 2,4 % del empleo rural; a nivel industrial, en la transformación y fabricación de chocolates, el aporte es del 1,5% del total de la industria de alimentos y del 0,3 % a la industria manufacturera. Además, el nivel de las exportaciones de las partidas arancelarias asociadas al cacao y su transformación han experimentado un crecimiento promedio anual durante el período 2005-2015 del 56,2% (Castellanos *et al.*, 2015). Según Álvarez y

Zapata (2011) el cacao se produce típicamente en minifundios o bajo sistemas de agricultura de subsistencia (casi el 90% de la producción de cacao corresponde a pequeños agricultores con menos de 5 hectáreas), también denominada campesina, la cual se caracteriza entre otros aspectos por una alta heterogeneidad de material genético. Para evaluar la sostenibilidad de un agroecosistema, los investigadores se han ideado una serie de indicadores, que consisten en observaciones o mediciones que se realizan en la finca para determinar de manera cuantitativa si el suelo es fértil y conservado, y si las plantas están sanas, vigorosas y productivas (Pérez, 2010).

Según Bautista, Etchevers, del Castillo y Gutiérrez (2004), a pesar de la preocupación creciente acerca de la degradación del suelo, de la disminución en su calidad y de su impacto en el bienestar de la humanidad y el ambiente, aún no hay criterios universales para evaluar los cambios en la calidad del suelo. Para hacer operativo este concepto, es preciso contar con variables que evalúen las condiciones del suelo; estas variables son indicadores, que representan

una condición y aportan información acerca de los cambios o tendencias que en ella ocurren (Dumanski, Gameda y Pieri 1998). En este sentido Bautista *et al.*, (2004), afirman que en el cultivo de cacao en Colombia aún no se han establecido las normas de referencia para la fertilidad edáfica y foliar, puesto que el diagnóstico de los nutrientes se realiza con base en estudio realizados en otras zonas contrastes a las que hoy representan la mayor producción de cacao en el país. Por otra parte, Hammond, Adriaanse, Rodenburg y Woodward (1995), mencionan los indicadores como instrumentos de análisis que permiten simplificar, cuantificar y comunicar fenómenos complejos. Tales indicadores se aplican en muchos campos del conocimiento (economía, salud, recursos naturales, entre otros).

Los indicadores de calidad del suelo pueden ser propiedades físicas, químicas y biológicas, o procesos que ocurren en él Soil Quality Institute (SQI, 1996). Para Dumanski, *et al.*, (1998), dichos indicadores no podrían ser un grupo seleccionado para cada situación particular, sino que deben ser los mismos en todos los casos. Bautista *et al.*, (2004), establecieron que los indicadores deberían permitir: (a) analizar la situación actual e identificar los puntos críticos con respecto al desarrollo sostenible; (b) analizar los posibles impactos antes de una intervención; (c) monitorear el impacto de las intervenciones antrópicas; y (d) ayudar a determinar si el uso del recurso es sostenible.

Para realizar los análisis indicados en el estudio, es necesario seleccionar sitios específicos de investigación, que permitan y faciliten un buen suministro de recursos e información necesaria para llevar a cabo el proceso y evaluación de las variables a determinar, tanto en campo como en laboratorio, así es posible generar propuestas de manejo y mejoramiento de los sistemas agrícolas de acuerdo con los problemas planteados e identificados en la zona. Por tanto, esta investigación se realizó con el propósito de evaluar el comportamiento de

algunas variables químicas en suelos cacaoteros de predios ubicados en cuatro municipios de Antioquia, tres pertenecientes a la región de Urabá y uno al Nordeste, con miras a determinar la fertilidad del suelo y generar una propuesta de manejo integral.

Materiales y métodos

Localización

El estudio se realizó en dos subregiones del departamento de Antioquia. La primera subregión comprendió al Nordeste, realizando el trabajo en el municipio de Yalí de acuerdo con la clasificación de Holdridge, este municipio se puede categorizar en la zona de vida bosque húmedo Tropical (bh-T); se registran precipitaciones anuales entre 2.000 y 4.000 mm, con temperatura media superior a 24°C (Jiménez, 2002). Los suelos presentan características físicas muy variadas entre relieve plano a ligeramente escarpado, su fertilidad es de baja a media con bajo contenido de bases intercambiables y en general pertenecen al orden inceptisol.

La segunda subregión fue la zona centro de Urabá conformada por los municipios de Apartadó, Carepa y Chigorodó (Herrera y Sánchez, 2016). La subregión está localizada en su mayoría en relieve plano y ligeramente plano, con algunas inclusiones de relieve ligero y moderadamente escarpado, así mismo, se distribuye entre un clima cálido y húmedo en la zona centro, con precipitación anual entre 2.300 y 3.000mm, temperatura promedio de 28°C; los suelos presentan características físicas variadas, la profundidad efectiva fluctúa de superficial a muy profunda, limitada en el segundo caso por el nivel freático, las texturas varían de muy finas a gruesas con dominancia de las finas y medias (Fajardo y Patiño, 2015). Las características químicas en la mayoría de los suelos de Urabá presentan de mediana a alta capacidad de cambio catiónico, alta saturación de bases y bajo contenido de carbón orgánico; los suelos

en general tienen una fertilidad alta a muy alta y pertenecen a los órdenes entisol e inceptisol (IGAC [Instituto Geográfico Agustín Codazzi], 2007).

Selección de predios

Se seleccionaron para el estudio 23 predios cacaoteros en el municipio de Yalí, con un sistema de siembra en triángulo a 3.5 x 3.5m, con clones universales (ICS-95 y CCN-51) e híbridos propagados de forma sexual, con una edad fenológica entre los 8 y 12 años. Para ello se contó con el apoyo logístico de la Federación Nacional de Cacaoteros y la disponibilidad de los productores a participar en el proyecto. En la subregión de Urabá, se seleccionaron 20 predios, establecidos en un sistema en triángulo a 4 x 4m, con clones universales y regionales (CCN-51, IMC-67, TSH-565, ICS-1, ICS-60, ICS-95 y FMA-8, FCHI-1 respectivamente), con una edad fenológica entre seis y siete años de siembra e injertación.

Muestreo

El muestreo se realizó de manera aleatoria seleccionando en cada predio entre 20 y 30 sitios (árboles) a través de recorridos en zig - zag . las muestras fueron tomadas sobre la proyección de la copa de cada árbol en el suelo Se retiró

la hojarasca y hierbas existentes y con la ayuda de un barreno se tomaron 25 sub-muestras entre 0-25 cm de profundidad y en direcciones opuestas y ortogonales (FEDECACAO, 2015). Estas se vertieron en un recipiente limpio, en el cual se acumularon todas las sub-muestras recolectadas en cada una de las fincas (entre 15 y 20 sub-muestras por Ha); al final del proceso el suelo acumulado en el recipiente se mezcló adecuadamente y se tomó una muestra compuesta de 500g, la cual se marcó y envió al laboratorio de suelos de la universidad, para la determinación de las variables químicas.

Técnicas de laboratorio

Las muestras de suelo se utilizaron para determinar textura (porcentajes de arcilla, limo y arena), densidad aparente, pH, CICE (capacidad de intercambio catiónico efectiva) y los contenidos de Ca, Mg, K, Na, Al, P, Fe, Mn, Cu, Zn y B, las cuales se secaron a 40°C durante 48 horas y se pasaron por un tamiz No.10 con abertura de 2mm con anterioridad. Y solamente para determinar el contenido de materia orgánica, las muestras después de secadas a 40°C por 48 horas, se pasaron por un tamiz No.30 de 0,6mm de abertura (Jaramillo, 2014). En la Tabla 1 se detallan las variables químicas evaluadas, indicando el método o técnica empleada en el laboratorio.

Tabla 1.

Métodos de laboratorio para determinar las propiedades químicas y textura del suelo

Determinación (Símbolo) pH	Método y/o Técnica (Unidades) Potenciométrico en agua (1:1)
Contenido de Materia Orgánica (MO)	Walkley – Black y volumetría (%)
Capacidad de Intercambio Catiónico Efectivo (CICE)	Suma de cationes de cambio (cmol(+) kg-1 suelo)
Contenidos de Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Potasio (K), Sodio (Na) intercambiables.	Extracción con acetato de amonio 1N a pH 7 y absorción atómica (cmol(+) kg-1 suelo)
Contenido de Aluminio intercambiable (Al)	Extracción con KCl y colorimetría (cmol(+) kg-1 suelo)
Contenido de Fósforo disponible (P)	Bray II y colorimetría (mg kg-1)
Contenidos de Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Cobre (Cu) y Zinc (Zn)	Olsen modificado y absorción atómica (mg kg-1)
Contenido de Boro (B)	Extracción con agua caliente y colorimetría (mg kg-1)
Textura	Hidrómetro o de Bouyoucos

Fuente: (IGAC, 2007; González, 2017; Zapata, 2014).

Descripción del estado nutricional

Para el diagnóstico nutricional de los suelos, las propiedades químicas estudiadas como: MO, Al, pH, P, K, Mg, Ca, CICE y S, se tuvo como criterio el requerimiento nutricional para el cultivo del cacao propuesto por los autores Amores, *et al.*, (2009) y Estrada (2010); los elementos menores como: B, Zn, Cu, Mn y Fe se describieron por medio de los requerimientos nutricionales para los suelos de Colombia en general, descritos por el ICA según Silva, (2001), y en el caso de la textura del suelo (arena, limo y arcilla), Pinzón, *et al.*, (2009), sugieren los suelos francos, como los suelos de texturas adecuadas para el establecimiento del cultivo de cacao, por ser porosos y de buena aireación.

Análisis estadístico

Las propiedades químicas determinadas se analizaron usando métodos estadísticos descriptivos como media, desviación estándar, varianza, rango, sesgo y curtosis, con el propósito de analizar su comportamiento entre zonas y con respecto a estudios realizados por otros autores. Una vez estudiado el comportamiento, se comparó el estado de cada variable en cada predio contra los rangos óptimos reportados para cada una de ellas en la literatura. Para el procesamiento de los datos se utilizó el software estadístico y de programación R-project® 2015 versión 3.2.2.

Resultados y discusiones

Los predios ubicados en la Subregión del Nordeste de Antioquia presentan suelos muy fuertemente ácidos, la descripción de Jaramillo (2014) (Tabla 2), con un nivel medio de aluminio intercambiable de 1,36cmol (+) kg-1, no obstante, el aluminio en términos de saturación se presenta tendiente hacia el nivel alto (33%), lo que indica que en esta región se

deben emprender acciones de manejo. Por otra parte, es muy alto el contenido promedio de hierro encontrado en estos suelos (150,48mg kg-1), superando ampliamente el nivel alto propuesto por Silva (2001), característica típica de suelos ácidos sometidos a largos períodos de reducción. El hierro en estas cantidades puede causar toxicidad, así como interferir en la absorción de otros nutrientes (Osorio, 2014; Sánchez y Mira, 2013). El suelo presenta una baja CICE (4,17cmol (+) kg-1), propiedad indicadora de baja fertilidad corroborado por el bajo contenido de bases intercambiables como, en el caso del calcio, y medio en el caso del magnesio.

La materia orgánica en términos de porcentaje presenta un nivel medio (3,51%), nivel típico de suelos intervenidos. La textura promedia presentada en la Subregión del Nordeste fue arcillosa (Arena: 38,44 %, Limo: 14,44%, Arcilla: 47,13%), indicando suelos con alta capacidad de retención de humedad durante las épocas de lluvias y baja aireación (Jiménez, 2002), siendo ideal suelos francos de acuerdo con Pinzón, *et al.*, (2009), suelos de textura adecuada para el establecimiento del cultivo de cacao, por ser porosos y de buena aireación.

De los elementos menores estudiados la mayoría se encuentran en un nivel medio en el suelo, con excepción del zinc que se presenta en un nivel bajo (0,91 mg kg-1). Los elementos menores evaluados en la subregión del Nordeste Antioqueño se encuentran en rangos variados, lo que indica que no existe un equilibrio entre ellos; en el caso del azufre, zinc y manganeso se encuentran en un nivel bajo (S: 6,83; Zn: 0,91; Mn: 2,30 (mg k-1) respectivamente).

A pesar de que se evidenció un alto contenido de Hierro, Marín, (1989) reporta que el funcionamiento metabólico de este elemento en las plantas está conectado con el suministro de Zinc.

Tabla 2.

Descripción del estado químico de los suelos del Urabá y Nordeste Antioqueño

Variable	Promedio Nordeste	Promedio Urabá	Rango	Unidad	Nivel						Referencia para el rango
					B ⁽¹⁾		M ⁽²⁾		A ⁽³⁾		
					U ⁽⁴⁾	N ⁽⁵⁾	U	N	U	N	
pH	4,65	5,59	5 - 7,5	-		X	X				Amores, <i>et al.</i> , 2009
MO	3,51	2,28	3,1 - 6,4	%	X			X			
P	6,35	7,55	5 - 16	mg kg-1			X	X			
S	6,83	6	12 - 21		X	X					Estrada, 2010
B	0,31	0,26	0,2 - 0,6				X	X			Silva, 2001
Zn	0,91	0,89	2 - 4		X	X					
Cu	1,09	3,3	1 - 3					X	X		
Fe	150,48	30,1	10 - 20						X	X	
Mn	2,3	6,9	5 - 10			X	X				
K	0,44	0,4	0,15 - 0,41	cmol(+) kg-1			X			X	Amores, <i>et al.</i> , 2009
Ca	1,95	14,18	4 - 18,1			X	X				
Mg	0,46	4,98	0,8 - 4,4			X			X		
CICE	4,17	20,04	12 - 30			X	X				Estrada, 2010
Al	1,36	0,47	0,3 - 1,51				X	X			Amores, <i>et al.</i> , 2009

Dónde: ⁽¹⁾ B: Bajo; ⁽²⁾ M: Medio; ⁽³⁾ A: Alto; ⁽⁴⁾ N: Nordeste; ⁽⁵⁾ U: Urabá; mg kg-1: miligramos por kilogramos; cmol(+) kg-1: centimoles por kilogramo.

Fuente: laboratorio de suelos Universidad Nacional de Colombia - Medellín.

En el caso del fósforo, el método usado para su evaluación fue Bray II, para suelos ácidos como en nuestro caso y se utilizó como rango de comparación, datos reportados por el método de Mehlich, dado que no se encontraron en la literatura estimaciones para este cultivo con el método de evaluación utilizado en la investigación (Bray II).

La literatura describe el método de Mehlich como un método adecuado para suelos con pH entre ligeramente ácidos y básicos (no calcáreos) y lo reportan como un método adecuado para evaluar el fósforo disponible para la planta; mientras que el método de Bray II se dice que sobre-estima el fósforo asimilable en suelos ricos en minerales no cristalinos, (Tabla 2) (IGAC, 2007; Afif y Olivera, 2005).

La relación Ca/Mg(4,24) se encuentra en un rango ideal, la relación Ca/K(4,43)

y Mg/K(1,04) es baja, indicando que debe aumentarse el contenido de calcio y de magnesio respecto al potasio en el suelo para no generar un desequilibrio entre estos elementos. La relación (Ca+Mg)/K(5,47) es alta debido al alto contenido de potasio (K) intercambiable en el suelo, corroborando los resultados anteriores.

Según Silva (2001), las relaciones cationes intercambiables en el suelo puede no estar directamente relacionado con el crecimiento y productividad de los sistemas agrícolas, sin embargo, es de suma importancia manejar los niveles de suficiencia en su valor óptimo. Por otra parte, teniendo en cuenta la variabilidad en la subregión del Nordeste no se presentó un comportamiento sistemático en las variables químicas estudiadas, sin embargo los elementos que presentaron un coeficiente de variación $\geq 50\%$ fueron: Al, Ca, Mg, K, P, Mn y Zn, por lo cual se podría inferir que

estos elementos son los que están directamente relacionados con el desbalance nutricional y disponibilidad de algunos nutrientes para la planta (Tabla 3), esto relacionado con el nivel alto de saturación de acidez intercambiable y alto contenido de hierro en estos suelos.

Tabla 3.

Descripción del estado de las variables químicas para suelos del Nordeste

Variable	Min.	1er Cuartil	Mediana	Media	3er Cuartil	Max.	Desv. Estándar	Coef. Variación	Varianza
A%	20	35	40	38,44	44	46	6,52	0,17	42,53
L%	6	12	14	14,44	16	24	3,81	0,26	14,53
Ar%	36	42	48	47,13	50	64	7,28	0,16	53,03
pH	4,2	4,4	4,5	4,65	4,85	6	0,4	0,09	0,16
M.O	2,6	3,15	3,45	3,51	3,8	5	0,6	0,17	0,36
Al	0	0,55	1,5	1,36	2,15	2,7	0,88	0,66	0,77
Ca	0,8	1,05	1,4	1,95	2,65	4,9	1,25	0,64	1,57
Mg	0,2	0,25	0,4	0,46	0,5	1,6	0,32	0,7	0,1
K	0,1	0,2	0,2	0,44	0,65	1,3	0,39	0,88	0,15
CICE	2,7	3,4	3,9	4,17	4,75	7,6	1,22	0,29	1,48
P	3	4	5	6,35	5	39	7,26	1,14	52,69
S	3	5	6	6,83	8,5	15	2,73	0,4	7,42
Fe	64	109,5	171	150,48	190	241	54,66	0,36	2987,53
Mn	0	1	2	2,3	2,5	8	1,99	0,86	3,95
Cu	1.00	1.00	1.00	1.09	1.00	2.00	0.29	0.27	0.08
Zn	0.00	1.00	1.00	0.91	1.00	2.00	0.52	0.56	0.27
B	0.20	0.30	0.30	0.31	0.38	0.50	0.09	0.28	0.01

Dónde: Min: valor mínimo, Max: valor máximo

Fuente: laboratorio de suelos Universidad Nacional de Colombia – Medellín

Para la subregión de Urabá, aun que presentó mayor fertilidad química, algunos nutrientes como el Al, K, P y S presentaron un coeficiente de variación $\geq 50\%$, lo que indica que estos elementos pueden estar relacionados con el desbalance nutricional y disponibilidad de algunos nutrientes para la planta (Tabla 4). Según FEDECACAO (2015), en estos suelos, los elementos que más inciden en el comportamiento productivo del cultivo son la disponibilidad de Ca, K y P, teniendo en cuenta que son los nutrientes que la planta extrae en mayor cantidad y su efecto en el balance nutricional a nivel edáfico.

En promedio los predios ubicados en la Subregión del Urabá Antioqueño, se clasificaron como suelos fuertemente ácidos, según la

descripción de Soil Survey Division Staff (SSDS 1993) y Jaramillo (2014), con un nivel promedio de aluminio intercambiable de 0,47 cmol (+) kg⁻¹, el cual, en términos de saturación, presenta un nivel bajo (2,35%). propiedad que no representa un problema para este cultivo en estos suelos (FEDECACAO, 2015).

El suelo presenta una CICE de 20 cmol (+) kg⁻¹, ubicándose en el nivel medio e indicando que es un suelo mucho más fértil, con un mayor contenido de bases intercambiables. las cuales se ubican entre el nivel medio y alto (Tabla 2). Los suelos de Urabá analizados presentan un menor contenido de hierro disponible (30 mg kg⁻¹) indicando probablemente un mayor equilibrio entre los procesos oxido reductores de estos suelos (FEDECACAO, 2015).

Tabla 4.

Descripción del estado de las propiedades químicas para suelos del Urabá.

Variable	Min.	1er Cuartil	Mediana	Media	3er Cuartil	Max.	Desv. Estándar	Coef. Variación	Varianza
A%	14	21,5	32	30,8	38,5	50	12,01	0,39	144,17
L%	24	30	34	33,9	38	50	5,64	0,17	31,78
Ar%	20	26	30	35,3	44	60	11,81	0,34	139,48
pH	5	5,2	5,5	5,59	5,73	6,8	0,54	0,1	0,29
M.O	1,1	1,9	2,3	2,28	2,58	3,4	0,62	0,27	0,38
Al	0	0	0	0,47	0,9	1,7	0,61	1,31	0,37
Ca	5,15	10,65	13,25	14,18	15,65	29	6,26	0,44	39,21
Mg	2,3	3,58	4,55	4,98	5,97	12	2,12	0,43	4,49
K	0,13	0,22	0,31	0,4	0,39	1,53	0,33	0,81	0,11
CICE	8,9	15,35	17,75	20,04	22,8	36,9	7,22	0,36	52,11
P	2	3	5,5	7,55	10,25	22	5,88	0,78	34,58
S	3	4,75	5	6	7	18	3,18	0,53	10,11
Fe	9	25,5	32	30,1	34,5	49	11,73	0,39	137,57
Mn	4	5	6	6,9	9	12	2,22	0,32	4,94
Cu	2	3	3	3,3	4	6	1,03	0,31	1,06
Zn	0,3	0,6	1	0,89	1	2	0,35	0,4	0,13
B	0,1	0,2	0,3	0,26	0,3	0,4	0,09	0,35	0,01

Dónde: Min: Valor mínimo, Max: Valor Máximo

Fuente: laboratorio de suelos Universidad Nacional de Colombia – Medellín

La mayoría de los elementos evaluados en la región de Urabá se localizan en el rango medio con excepción del azufre (S) y el Zinc (Zn) que se ubican en el nivel bajo y el cobre (Cu) y el hierro (Fe) que se encuentran en el rango alto, pero con valores muy cercanos al límite superior. Estos suelos presentan un bajo contenido de materia orgánica (FEDECACAO 2015).

La relación Ca/Mg(2.85) presenta un valor apropiado, la relación Ca/K(35,45) es alta, indicando que debe aumentarse el contenido de potasio (K) en el suelo para no generar un desequilibrio entre estos dos elementos. La relación Mg/K(12.45) es adecuada mientras que la relación (Ca+Mg)/K (47.9) es alta debido al alto contenido de Ca intercambiable en el suelo. La textura presentada en estos suelos es franco arcillosa (Arena: 30.8%. Limo: 33.9%. Arcilla: 35,3%), indicando suelos más sueltos,

que favorecen la circulación del agua dentro del perfil del suelo, así como una mejor aireación y disponibilidad de oxígeno edáfico para las plantas (Pinzón *et al.*, 2009).

En términos generales, se puede decir que la región del Nordeste Antioqueño presenta mayor cantidad de características limitantes para el establecimiento y desarrollo del cultivo de cacao comparada con la región de Urabá, por lo que se requiere emprender acciones en el manejo de la acidez del suelo y de fertilización para aportar los nutrientes requeridos por el cultivo; así como de manejo del agua dentro del perfil del suelo, sobre todo en las épocas lluviosas, dado que a pesar de las fuertes pendientes en las que se encuentran establecidos estos cultivos en esta región, el suelo parece permanecer saturado, provocando efectos adversos en el sistema radical de la planta (deficiencia de oxígeno) y generar un microclima de alta humedad relativa,

lo que favorece el desarrollo de enfermedades tipo moniliasis o pudrición negra principalmente (Correa, Castro y Coy, 2014).

Propuesta de manejo de la acidez. Aluminio intercambiable y la fertilidad del suelo

Como se mencionó anteriormente, los predios ubicados en el Nordeste Antioqueño presentan suelos con una saturación de aluminio muy alta (33%) lo que puede conllevar que se presente toxicidad por este elemento; por lo tanto, se recomienda encalar, con el objeto de neutralizar el aluminio intercambiable. El método propuesto fue el de Cochrane, Salinas y Sanchez (1980). el cual neutraliza parte del aluminio intercambiable (Al^{3+}) teniendo en cuenta la CICE y llevando la saturación de aluminio a un nivel que la planta pueda tolerarlo (10%); la cal propuesta es del tipo Dolomita compuesta por 3,5% de CaO y 17,5% de MgO (Espinosa y Molina, 1999) y la cantidad a aplicar es de 192g de cal árbol-1 ciclo-1 para un total de 200kg por hectárea cada seis meses. Las estimaciones se hicieron teniendo en cuenta una distancia entre plantas de 4 x 4m en triángulo, una profundidad de 30cm. un radio de 60cm y una densidad aparente del suelo de 1gcm⁻³ (FEDECACAO, 2015).

En la Tabla 5 se presentan las cantidades a aplicar por hectárea de N, P₂O₅ y K₂O para el manejo nutricional del cultivo, de acuerdo al límite superior del rango adecuado para estos

nutrientes, la eficiencia de los fertilizantes y remoción de los nutrientes, proyectando una producción de 1000 kg ha⁻¹ (INPOFOS, 2002). En el caso del CaO y del MgO, no se asumieron los límites superiores reportados para estos elementos como puntos críticos, los niveles utilizados fueron para el Ca: 9cmol (+) kg⁻¹ y para el Mg: 3cmol (+) kg⁻¹ dados los bajos contenidos de estos elementos reportados en los análisis de suelos. Se enfatiza en las altas cantidades de CaO y MgO a aplicar, si se quiere contar con niveles ideales en el suelo que garanticen una adecuada nutrición.

En el caso de los predios ubicados en el Urabá Antioqueño, no es necesario realizar aplicaciones de cal, ya que la saturación del Aluminio intercambiable es baja (2.35%) y en el cultivo de cacao tolera una saturación del 20%; además se debe mantener el equilibrio existente entre este elemento y las bases intercambiables (Ca, Mg y K).

En la Tabla 6 se indican las cantidades a aplicar por hectárea N, P₂O₅ y K₂O para el adecuado manejo nutricional del cultivo, teniendo en cuenta la eficiencia y remoción de los nutrientes proyectando una producción de 1000kg ha⁻¹ (INPOFOS, 2002). En el caso del Ca y del Mg. asumiendo los mismos niveles críticos que para la subregión del Nordeste Antioqueño el suelo cuenta con los niveles adecuados de Ca y Mg para la nutrición del cultivo.

Tabla 5.

Manejo de la acidez intercambiable y fertilidad para los predios ubicados en el Nordeste Antioqueño

Nutrientes	Remoción de nutrientes (kg ha ⁻¹)	Eficiencia de fertilización (%)	Total a aplicar (kg ha ⁻¹)
MgO	10 ⁽¹⁾	50	347
CaO	13 ⁽¹⁾	50	1298
N	30 ⁽¹⁾	40	95
P ₂ O ₅	8 ⁽¹⁾	30	50
K ₂ O	40 ⁽¹⁾	40	266

Fuente: ⁽¹⁾ Inpofos. (2002).

Tabla 6.

Manejo de la acidez intercambiable y fertilidad para los predios ubicados en el Urabá Antioqueño.

Nutrientes	Remoción de nutrientes (kg ha ⁻¹)	Eficiencia de fertilización (%)	Total a aplicar (kg ha ⁻¹)
N	30 ⁽¹⁾	40	102
P ₂ O ₅	8 ⁽¹⁾	30	47
K ₂ O	40 ⁽¹⁾	40	252

Fuente: ⁽¹⁾ Inpofos. (2002).

Conclusiones

Los suelos cacaoteros ubicados en la subregión Urabá Antioqueño presentaron mayor fertilidad química con respecto a los suelos ubicados en la subregión del Nordeste Antioqueño; en este sentido, los suelos de la subregión del Nordeste Antioqueño requieren un manejo más intenso de las propiedades químicas indicadoras de fertilidad que los suelos de la subregión del Urabá Antioqueño debido a la alta saturación de aluminio y baja Capacidad de Intercambio Catiónico Específico (CICE).

En el Nordeste Antioqueño las variables químicas con mayor relación en el desbalance nutricional son: Al, Ca, Mg, K, P, Mn y Zn, mientras que en el Urabá son Al, K, P y S. En este sentido requieren aplicaciones similares de K y P para ambas subregiones y de acuerdo con FEDECACAO (2015), se deben realizar aplicaciones frecuentes de estos nutrientes debido a su alta remoción por parte del cultivo en el suelo.

Recomendaciones

Para la subregión del Nordeste Antioqueño se recomienda realizar aplicaciones de CaO y MgO de 1298 y 347 kg ha⁻¹ respectivamente, antes de aplicar los demás nutrientes, con el propósito de bajar la saturación de acidez intercambiable y a su vez acompañarlo con fertilización foliar basado en fuentes de elementos menores. Por otro lado, se recomienda realizar procesos de aireación del suelo, para manejar el alto contenido de

hierro (Fe) que se encuentra en estos suelos. Se recomienda hacer una interpretación de las propiedades químicas, teniendo en cuenta los indicadores de calidad física y microbiológica del suelo, que conlleven a una visión integral de la salud del suelo.

Agradecimientos

A los docentes del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid de la facultad de ciencias agrarias, por su conocimiento y aportes compartidos para el desarrollo de esta investigación. A todos los compañeros de trabajo del grupo de investigación “Manejo Integrado de Sistemas Agrícolas” MISA, por el tiempo, dedicación y colaboración durante la ejecución del proyecto. A los agricultores de las subregiones del Urabá y Nordeste Antioqueño, y a la Federación Nacional de Cacaoteros (FEDECACAO), por la gran atención prestada y facilitar los sitios de estudio e investigación, así como también por la información suministrada.

Referencias

- Afif, E. & Oliveira J. (2005). Perdida de disponibilidad y niveles críticos de fósforo Mehlich 3 en suelos no calcareos de Asturias. *Pastos*, 35 (2), 163-178.
- Álvarez. N. & Zapata. J. (2011). *Reporte Fondo Cacao BYR. Bolsa y Venta. comisionista de bolsa* (3-4). Recuperado de: <http://www.bolsayrenta.com>.

- Amores, F., Palacios, A., Jiménez, J. & Zhang, D. (2009). Entorno ambiental. Genética. atributos de calidad y atributos de calidad y singularización del cacao en el nororiente de la provincia de esmeraldas. Instituto Nacional Autónomo de investigaciones agropecuarias. Estación Experimental tropical pichelingue. *Boletín técnico*, 135, 119-120.
- Bautista, A., Etchevers, J., del Castillo, F. & Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Revista científica y técnica de ecología y medioambiente*, 13 (2), 23-24.
- Castellanos, O., Torres, L., Fonseca, S., Montañez, V. y Sánchez, A. (2015). *Agenda Prospectiva de Investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de cacao-chocolate en Colombia*. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de: http://www.bdigital.unal.edu.co/2111/1/Publicable_Agenda_Cacao.pdf
- Cochrane, T., Salinas, J. y Sanchez, P. (1980). An equation for liming acid mineral soils to compesate crops aluminium tolerance. *Tropical Agriculture*. 57(2), 133-140.
- Correa, J., Castro, S. y Coy, J. (2014). Estado de la moniliasis del cacao causada por *Moniliophthora roreri* en Colombia. *Acta Agronómica*, 63(4), 388-399. doi: <https://doi.org/10.15446/acag.v63n4.42747>
- Dumanski, J., Gameda, S. y Pieri, C. (1998). *Indicators of land quality ansustainable land management*. Washington DC. USA: TheWorld Bank.
- Estrada, F. (2010). *Balance de nutrientes en sistemas agroforestales de cacao (Theobroma cacao) orgánico en el municipio de Waslala, Nicaragua* (tesis de grado), Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza escuela de posgrado, Urrialba, Costa Rica.
- Fajardo, S y Patiño, J. (2015). Anuario estadístico del sector agropecuario en el departamento de Antioquia 2014. Gobernación de Antioquia. Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. Medellín. 34-35.
- FEDECACAO (2015). *Guía Técnica para el cultivo de cacao. Federación Nacional de Cacaoteros. Fondo Nacional del Cacao. Sistema General de Regalías*. (6ta Ed.). Bogotá D.C. Colombia. 171-173.
- González, R. (2017). *Implementación de las normas DRIS en el cultivo del plátano (Musa AAB Simmonds) en las subregiones del Urabá y Suroeste Antioqueño* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Hammond, A., Adriaanse, A., Rodenburg, E., & Woodward, R. (1995). *Environmental indicators: A Systematic Approach to Measuring and Reporting on Environmental Policy Performance in the Context of Sustainable Development*. Recuperado de: <http://infohouse.p2ric.org/ref/30/29288.pdf>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2007). *Estudio semi-detallado de los suelos potencialmente agrícolas. Urabá. Departamento de Antioquia*. Bogotá. D.C. Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi
- INPOFOS. (2002). *Nutrición y fertilización del cacao. Síntomas de deficiencias*

- nutricionales. International Plant Nutrition Institute (IPNI). Colombia. Recuperado de: <http://www.ipni.net/ppiweb/ltamn.nsf/>*
- Jaramillo. D. F. (2014). *El suelo: origen. Propiedades. Espacialidad.* (2da Ed). Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Jiménez, O. (2002). *Perfil subregión Nordeste de Antioquia. Gobernación de Antioquia. Cámara de comercio de Medellín para Antioquia.* Recuperado de: http://www.camaramedellin.com.co/site/Portals/0/Documentos/2017/Publicaciones%20regionales/14-3Perfil%20Nordeste_Oct14.pdf
- Marín. G. (1989). *Fertilidad de los suelos con énfasis en Colombia. Manual de asistencia técnica No. 03.* Bogotá. D.C: ICA.
- Martínez, H. & Ortiz. L. (2005). *La cadena del cacao en Colombia. En: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Documento de trabajo No. 58.* Recuperado de: <http://www.agrocadenas.gov.co>.
- Osorio, N. (2014). *Manejo de Nutrientes en Suelos del Trópico.* Colombia: Editorial L. Vieco S.A.S.
- Pérez. M. (2010). *Sistema agroecológico rápido de evaluación de calidad de suelo y salud de cultivos. Guía Metodológica.* Bogotá D.C. Colombia: Universidad de Córdoba y Universidad Internacional de Andalucía.
- Pinzón, J., Rojas, J. y Rojas, F. (2009). *Guía técnica para el cultivo del cacao.* (4ta Ed.). Bogotá D.C: FEDECACAO.
- Sánchez, J y Mira, J. (2013). *Principios para la nutrición del cultivo de banano.* Medellín, Colombia: Augura – Cenibanao.
- Silva. F. (2001). *Fertilidad de suelos Diagnostico y Control. Sociedad Colombiana de la ciencia del suelo* (2da Ed.). Bogotá. D. C. Colombia.
- Soil Survey Division Staff (1993). *Soil survey manual. Handbook No. 18.* Washington. D. C.: United States Department of Agriculture (USDA).
- Soil Quality Institute. (1996). *Indicators for Soil Quality Evaluation. USDA Natural Resources Conservation Service. Prepared by the National Soil Survey Center in cooperation with The Soil Quality Institute. NRCS. USDA. and the National Soil Tilth Laboratory. USA: Agricultural Research Service.*
- Zapata, R. (2014). *Los procesos químicos del suelo* (1ra Ed.). Medellín: Universidad nacional de Colombia. Facultad de ciencias. Escuela de Geo ciencias.