

Caracterización química de macroelementos en suelos cultivados con plátano (*Musa AAB Simmonds*) en el departamento de Córdoba, Colombia

Chemical characterization of macroelements in soils cultivated with Harton plantain (*Musa AAB Simmonds*) in the department of Córdoba, Colombia

Enrique Combatt-Caballero^{1*}, Rafael Novoa-Yáñez¹, y José Luis Barrera-Violeth¹

¹Profesores del Departamento de Agronomía y Desarrollo Rural, Universidad de Córdoba, A.A. 354, Montería, Colombia.

*Autor para correspondencia: ecombatt@hotmail.com

Rec.: 16.04.12 Accept.: 02.06.12

Resumen

Las recomendaciones de fertilización para el cultivo de plátano (*Musa AAB Simmonds*) deben estar basadas en las características químicas y el potencial de producción de los suelos. El objetivo de este trabajo fue evaluar las características químicas de macro-elementos presentes en suelos utilizados en la producción de plátano en el departamento de Córdoba, Colombia. Las evaluaciones se hicieron en diez fincas por cada uno de cuatro municipios productores de plátano en el Alto Sinú (Valencia y Tierralta) y la región costanera (San Bernardo del Viento y Moñitos). Los parámetros determinados en el suelo fueron: pH, materia orgánica (M.O.), P, S, Ca, Mg, Na y K, según metodologías químicas propuestas por Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza y pruebas de comparación de medias (Tukey). En los resultados analíticos se encontró que los suelos presentan reacción moderadamente ácida con pH < 6 en la zona del Alto Sinú, a ligeramente alcalina con pH de 6.5 en la zona costanera. Los contenidos de M.O. son < 2.1%, el P varía entre 16.4 y 35.3 mg/kg y el S es deficiente con valores < 13.5 mg/kg en todas las fincas. Los contenidos de Ca, Mg y K son altos, pero con tendencia a antagonismos iónicos de Ca con respecto a K por las amplias relaciones catiónicas encontradas.

Palabras clave: Características morfológicas del suelo, fertilidad del suelo, plátano, relaciones catiónicas, suelos calcáreos.

Abstract

Fertilizer recommendations for hartón plantain cropping should be done by interpreting the chemical characteristics of soils to be reliable from the technical point of view and principally based in technical adjustments in relation to the nutritional potential of soils. The aim of this study was to evaluate the chemical characteristics of macroelements in soil in 40 farms cultivated with hartón plantain in the department of Córdoba, Colombia. The parameters measured were: pH, organic matter (O.M.), P, S, Ca, Mg, Na, K, according to the analytical procedures proposed by Geographic Institute Agustín Codaz (IGAC). Analysis of variance and mean comparison tests (Tukey) to the data were performed. The analytical results showed that the soils had a moderately acidic reaction, with pH lower than 6 on the High Sinú zone and slightly alkaline with pH 6.5 in the coastal zone. The organic matter content was less than 2.1%, P between 16.4 and 35.3 mg kg⁻¹ and S deficient with values less than 13.5 mg

kg⁻¹ in all municipalities. Values of Ca, Mg and K were high, but with a tendency of antagonism of the ion Ca with respect to K.

Key words: Calcareous soils, cationic relations, soil morphological features, soil fertility, plantains.

Introducción

El plátano (*Musa spp.*) es una fruta de gran importancia socio-económica en el mundo, con alto índice de consumo per cápita y un comercio interno en Colombia fuertemente consolidado y bien distribuido. El consumo mundial per cápita de plátano y banano durante los últimos cuarenta años creció 72% (FAO, 2004). En Colombia se cultivan alrededor de 381,000 ha con plátano, que representan el 7% del área total agrícola del país. La zona cafetera posee la mayor superficie cultivada (234,000 ha) equivalente a 61% del área total y los departamentos de Caldas, Quindío y Risaralda participan con 16% de la producción nacional (Secretaría de Desarrollo Económico y Agroindustrial, 2006).

Históricamente, las regiones de Valencia y Tierralta en el Alto Sinú y Moñito, los Córdobas, Puerto Escondido y San Antero, en la costa caribe del departamento de Córdoba, son las responsables de la mayor producción de plátano. En este departamento se cultivan en forma tradicional alrededor de 29,840 ha con una producción de 255,977 t, y un promedio de 8.47 t/ha de fruta (Secretaría de Desarrollo Económico y Agroindustrial, 2006).

A pesar de que estos rendimientos/ha son bajos, hay un alto interés por la siembra de este cultivo, como forma de diversificación por su alta demanda y rentabilidad económica, lo que demuestra la importancia del sistema de producción en la economía regional y nacional. Según la CCI (2000) el consumo de la fruta pasó de 900 t en 1992 para 2000 t en 1999, una tasa de crecimiento de 12.1%, además, las procesadoras industriales consideran que este comportamiento puede sostenerse en el próximo quinquenio, si continúa el interés de los consumidores por el producto.

Debido a la expectativa existente por la ampliación de la frontera agrícola del cultivo, es necesario hacer un manejo agronómico adecuado y conocer los principales problemas que se presentan en el crecimiento y desarrollo de las plantaciones de plátano, entre

ellos: distancias de siembras, incidencia de patógenos y caracterización físico-química de suelos. Esta última es necesaria para un adecuado programa balanceado de fertilización, ya que es uno de los factores que más influye en la producción, como también en la resistencia al ataque de enfermedades. Belalcázar (1991) considera que debe existir un adecuado balance entre la disponibilidad de los elementos en el suelo y la cantidad suministrada como fertilizante, ya que es fundamental no solo para alcanzar rendimientos económicos sino también para racionalizar el uso de altas cantidades de fertilizantes de síntesis.

El cultivo de plátano es exigente en nutrientes, especialmente K, N y P, no obstante se han observado diferencias en los rendimientos de plantaciones ubicadas en áreas agroecológicamente iguales en zonas productoras en Córdoba. Esto puede estar relacionado con la cantidad de nutrientes presente en el suelo en forma disponible, la cantidad de fertilizante aplicado y del manejo agronómico de cada plantación. En trabajos realizados por Corpoica (2001) en el cultivo de plátano, se destaca que en la región los planes de nutrición del cultivo no son suficientes para garantizar una producción sostenible. Sarita y Damatto (2007) indican que el K es el nutriente que más extrae la fruta de plátano. Su baja disponibilidad en el suelo reduce la floración, aumenta el tiempo de maduración, reduce el tamaño y el peso de los frutos. Además, la deficiencia de N ocasiona una reducción en el área foliar, lo que incide en el ciclo vegetativo y la calidad de los frutos. Según Espinosa *et al.* (1998) entre los requerimientos del plátano se destaca la adecuada fertilización con N, P y K basada en el análisis de suelos, con lo cual se logra un incremento significativo en el rendimiento. Martínez (1995) estableció que tanto el N como el K son necesarios para el cultivo del plátano, puesto que su deficiencia impide que la planta florezca, y en el caso del K, su ausencia total ocasiona la muerte de la planta.

Este trabajo tuvo como objetivo caracterizar el potencial químico de macro-elementos presentes en suelos utilizados en la producción de plátano en el departamento de Córdoba, como una ayuda en los programas de fertilización del cultivo.

Materiales y métodos

La primera zona de estudio está localizada en los municipios de Tierralta y Valencia, al sur del departamento de Córdoba, a 70 m.s.n.m, con precipitación, promedio anual, entre 2000 y 3500 mm, entre 27 y 28 °C, humedad relativa de 85%, brillo solar entre 4.1 y 5 horas (Palencia *et al.*, 2006). La segunda zona se encuentra en los municipios de San Bernardo del Viento y Moñitos, noroccidente del departamento, a 20 m.s.n.m, 1350 - 1500 mm, 27.5 y 27.4 °C, humedad relativa entre 84 y 87%, brillo solar de 5.5 horas (Palencia *et al.*, 2006).

Para el estudio de suelos de estas zonas, que presentan una variabilidad muy marcada en sus condiciones agroecológicas, se realizó un muestreo en diez puntos, en un número igual de fincas cultivadoras de plátano, con plantaciones entre dos y tres años de edad y manejo tradicional. En cada una de las diez fincas seleccionadas por municipio, se tomaron 10 submuestras de suelo rizosférico, a una profundidad de 30 cm. Estas submuestras fueron homogeneizadas para obtener una muestra definitiva de aproximadamente 2 kg/finca, que fueron debidamente empacadas e identificadas para ser enviadas a laboratorio.

Una vez recolectadas las muestras en cada zona, y de acuerdo con las características de los suelos observadas en campo, se seleccionó un sitio donde se excavó una calicata de 1 x 1 x 1 m para describir el perfil modal y realizar la clasificación taxonómica de los suelos por municipios, según la Clasificación Taxonómica del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (Soil Taxonomy, 1999).

En laboratorio las muestras fueron secadas al ambiente, trituradas y pasadas por un tamiz de 2 mm para su caracterización química según las normas establecidas por el IGAC (1990) y aprobadas por el Control Analítico de Laboratorios de Suelos de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo (CALS) e

implementadas por el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad de Córdoba.

Los análisis realizados fueron: pH por el método potenciométrico; materia orgánica (M.O.) por el método de Walkley - Black; P por Bray II; S por extracción con fosfato de calcio monobásico y determinación por colorimetría; bases intercambiables Ca, Mg, Na, K por extracción con acetato de amonio normal, pH 7.0; Ca y Mg cuantificados por absorción atómica; Na y K por espectrofotometría de emisión atómica; elementos menores Cu, Fe, Zn, Mn determinados por el método doble ácido diluido y cuantificados por absorción atómica (IGAC,1990) (datos n.p.). Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza y pruebas de comparación de medias (Tukey) empleando el programa SAS, versión 9.1 (Statistical Analysis System2, 2006).

Resultados y discusión

Clasificación de suelos de la parte alta del departamento de Córdoba

Fisiográficamente la mayor parte de los lotes establecidos con plátano en el municipio de Valencia se encuentran ubicados en pequeños valles aluvio-coluviales y en menor proporción en áreas con relieve ligeramente plano a ligeramente ondulado, originados a partir de sedimentos heterogéneos con diferentes grados de fertilidad. En Tierralta los suelos con plantaciones de plátano se encuentran principalmente en valles aluviales y en áreas de relieve ligeramente ondulado en posición geomorfológica de lomas y colinas, originados a partir de arcillolitas ácidas, areniscas y lentes calcáreos con fertilidad moderada a baja

Los análisis de las características físicas y químicas de los suelos en ambos municipios mostraron que presentan un epipedón ócrico y un horizonte cámbico de baja evolución pedológica, por lo que se clasifican dentro del orden Inceptisol, suborden Ustepts y a los grandes grupos Eutropets, Haplustepts y Endoacuepts. Estos resultados concuerdan con los estudios realizados por la Corporación del Valle del Sinú (CVS, 2001) en Tierralta, Córdoba, donde se muestra que en estas zonas se presentan los órdenes Inseptisoles, Entisoles y Oxisoles.

Características químicas de las zonas productoras de plátano en Tierralta-Córdoba.

En los resultados de los análisis químicos de suelos de Tierralta (Cuadro 1) se encontró que estos tienen reacción ligeramente ácida, con pH, promedio, de 5.8. Estas condiciones pueden estar influenciadas por las altas precipitaciones de la zona, que permiten el cambio de la naturaleza de los minerales arcillosos, disminuyen las cargas negativa de los mismos y, por consiguiente, aumentan las pérdidas por lixiviación de bases de cambio.

El contenido promedio de M.O. fue de 1.9 %, valor que puede ser considerado como medio y explicado por la alta mineralización y el escaso aporte de los residuos de cosecha, que están siendo reutilizados en estas zonas. La aplicación de residuos de cosecha como materia orgánica incrementa en el suelo las fuentes energéticas que estimulan y favorecen el ambiente edafológico para la proliferación de organismos, por lo que aumenta la mineralización de los residuos y el aporte de elementos minerales (Muñoz, 1994).

Los valores promedio de P y S encontrados fueron, respectivamente, de 29.5 y 6.6 mg/kg, considerados como medio y muy

bajo, con coeficientes de variación muy altos debido a los diferentes materiales de origen que formaron estos suelos. En la nutrición mineral del cultivo de plátano, el P es considerado como el elemento que contribuye al crecimiento radicular y el S es esencial para la formación de proteínas. Por tanto, en esta región, al establecer este cultivo es importante la aplicación de ambos nutrientes como fertilizantes, ya que hay una alta posibilidad de que se presenten deficiencias debidas a su baja disponibilidad. En este sentido, se deben tener en cuenta las sugerencias de Bationo *et al.* (1991) quienes indican que los reactivos utilizados en el método Bray II para la extracción de P son fuertemente ácidos, por lo cual se puede sobreestimar la disponibilidad de este elemento.

Las bases intercambiables Ca, Mg y K en esta zona presentan niveles altos, lo que indica una buena reserva de estos nutrientes, atribuida a los materiales parentales que dieron origen a estos suelos, como son arcillolitas, lodolitas y conglomerados, con lentes calcáreos; no obstante, parece existir una lenta restitución de estos nutrientes a la solución del suelo, condición por la cual se

Cuadro 1. Valores promedios, mínimo y máximo de los contenidos de macronutrientes en suelos de fincas productoras de plátano en Tierralta-Córdoba, Colombia.

Fincas	Prof. cm	pH	M.O. %	P	S	Ca	Mg	K	Na	CTC	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	Ca+Mg/K
				mg/kg		cmol ⁺ /kg-								
1	0-24	5.5	2.2	19.0	4.0	14.0	9.5	0.8	0.19	24.5	23.5	17.5	11.9	29.4
2	0-26	6.3	3.1	5.4	2.5	16.5	12.5	0.5	0.20	29.7	29.0	33.0	25.0	58.0
3	0-27-	5.9	1.2	19.0	16	9.5	8.5	0.5	0.10	16.7	18.0	19.0	17.0	36.0
4	0-26	5.7	1.5	34.0	6.0	7.5	9.0	0.6	0.10	17.3	16.5	12.5	15.0	27.5
5	0-23	5.6	1.2	30.0	4.1	11.0	7.0	0.4	0.10	18.5	18.0	27.5	17.5	45.0
6	0-27	6.0	3.4	66.3	3.5	16.0	5.0	1.6	0.10	22.8	21.0	10.0	3.1	13.1
7	0-25	6.0	1.2	41.1	3.5	7.5	10.5	0.6	0.10	18.7	18.0	12.5	17.5	30.0
8	0-29	5.2	1.3	16.0	5.0	11.0	10.0	0.7	0.10	22.2	21.0	15.7	14.3	30.0
9.	0-25	5.9	2.0	22.0	3.0	16.6	13.0	0.5	0.10	29.2	29.6	33.2	26.0	59.2
10	0-28	5.8	1.7	42.1	18	17.5	8.5	0.8	0.30	27.1	26.0	21.9	10.6	32.5
D.E.		0.3	0.8	16.5	5.3	3.7	2.3	0.3	0.1	4.6	4.5	8.0	6.3	13.5
Máximo		6.3	3.4	66.3	18	17.5	13.0	1.6	0.3	29.7	29.6	33.2	26.0	59.2
Mínimo		5.2	1.2	5.4	2.5	7.5	5.0	0.4	0.1	16.7	16.5	10.0	3.1	13.1
Prom.		5.8	1.9	29.5	6.6	12.7	9.4	0.7	0.1	22.7	22.1	20.3	15.8	36.1
CV (%)		5.0	40.6	55.8	81	28.9	24.2	46	47.1	20.4	20.5	39.5	40.1	37.5

Fincas: ¹ Banquito. ² Isidro Peña. ³ Villa Eliana. ⁴ Ricardo B. ⁵ Madrina J. ⁶ Villa Luz. ⁷ Arenal. ⁸ Zona 6. ⁹ Camaronera. ¹⁰ Ponderosa.

presentan valores de pH ligeramente ácidos en esta zona. Estos resultados son contrarios a los hallados por Combatt *et al.* (2005) quienes en un estudio de las características químicas de suelos forestales en Tierralta, observaron que las bases de cambio se hallan en concentraciones deficientes e indican que esto es debido a las altas tasas de lixiviación y pérdida de nutrientes esenciales para el desarrollo y crecimiento de las plantaciones ubicadas en zonas de lomeríos y alta pendiente.

Es necesario anotar que para un plan de fertilización del cultivo de plátano, además de conocer los contenidos minerales en el suelo, también es importante analizar el balance de los nutrientes mediante el cálculo de las relaciones catiónicas. Para esta zona las relaciones, promedio son: Ca/Mg = 22.1, Ca/K = 20.3, Mg/K = 15.8 y Ca+Mg/K = 36.1 (Cuadro 1). Es necesario indicar que para este cultivo existe poca información sobre relaciones catiónicas en el suelo, que estén directamente relacionadas con los contenidos de estos elementos a nivel de tejido foliar.

Características químicas de las zonas productoras de plátano en Valencia. En esta zona los suelos presentan reacción ligeramente ácida, con pH de 6 (Cuadro 2). Se encuentra localizada en áreas planas del municipio,

donde predominan procesos edafológicos de ganancia, por tanto los procesos de lixiviación y pérdida de elementos nutritivos son menores, además, los materiales parentales que dieron origen a los suelos revelan alto contenido de nutrientes (CVS, 2001).

Los contenidos de M.O. son en promedio de 1.5%, nivel considerado como bajo y menor que el promedio en suelos de Tierralta. De igual forma que para la zona de Tierralta, este bajo contenido de M.O. puede ser explicado por la alta mineralización y el poco aporte de los residuos de cosecha debido al sistema de manejo agronómico del cultivo. En estas condiciones es necesario diseñar un plan de manejo de residuos de cosecha para aumentar los contenidos de M.O. en estos suelos. Bolaños *et al.* (2002) consideran que el reciclaje de nutrimentos en el suelo por incorporación de biomasa en plantaciones de plátano es un factor positivo que permite racionalizar y reducir los niveles de fertilización química.

Los contenidos, promedio, de P y S en estos suelos son de 27.6 y 10.5 mg/kg, que se consideran como medio y bajo, respectivamente. Es importante indicar que en estas condiciones se presenta alta variabilidad en los contenidos de P que oscilan entre 3.5 y 101 mg/kg, debido a que las plantaciones se

Cuadro 2. Valores promedios, mínimo, máximo de los contenidos de macronutrientes en suelos de fincas en zonas productoras de plátano en Valencia -Córdoba, Colombia.

Fincas	Prof. cm	pH	M.O. %	P S		Ca	Mg	K	Na	CTC	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	(Ca+Mg)/K
				mg/kg										
1	0-28	5.4	1.7	4.5	4.0	14.0	5.5	0.3	0.1	19.9	19.5	43.8	17.2	60.9
2	0-22	6.2	0.8	5.4	3.5	8.5	5.0	0.6	0.1	14.2	13.5	14.2	8.3	22.5
3	0-25	5.5	1.0	3.5	14	12.5	8.5	0.4	0.2	21.6	21.0	31.3	21.3	52.5
4	0-21	6.5	2.0	50.0	18	19.0	7.0	0.6	0.2	26.8	26.0	31.7	11.7	43.3
5	0-26	6.4	1.2	37.7	12	16.1	6.5	0.7	0.2	23.5	22.6	23.0	9.3	32.3
6	0-24	6.1	0.3	101.0	16	15.0	8.5	0.5	0.2	24.2	23.5	30.0	17.0	47.0
7	0-25	5.8	1.8	4.7	4.0	15.0	11.0	0.7	0.3	27.0	26.0	20.3	14.9	35.1
8	0-27	6.0	2.5	39.1	15	17.5	10.0	0.6	0.2	28.3	27.5	29.2	16.7	45.8
9	0-28	5.9	1.7	24.0	4.0	16.0	12.0	0.5	0.1	28.6	28.0	32.0	24.0	56.0
10	0-24	6.2	2.2	5.6	14	11.5	7.0	0.2	0.2	18.9	18.5	57.5	35.0	92.5
D.E.		0.3	0.6	29.6	5.6	2.9	2.2	0.2	0.1	4.4	4.3	11.5	7.5	18.2
Máximo		6.5	2.5	101	18	19.0	12.0	0.7	0.3	28.6	28.0	57.5	35.0	92.5
Mínimo		5.4	0.3	3.5	3.5	8.5	5.0	0.2	0.1	14.2	13.5	14.2	8.3	22.5
Prom.		6.0	1.5	27.6	10	14.5	8.1	0.5	0.2	23.3	22.6	31.3	17.5	48.8
CV (%)		5.7	42.5	107.4	53	20.0	27.3	31	31.0	19.0	19.2	36.9	42.5	37.3

Fincas: ¹Puerto Rico. ²Los Rosales. ³ Reposito. ⁴ El Carmen. ⁵ Santa Rita. ⁶ El Peñón. ⁷ La Unión. ⁸ No te Canses. ⁹ Nueva Esperanza. ¹⁰ Mila Flor.

encuentran establecidas en diferentes condiciones fisiográficas, como son valles pequeños aluvio-coluviales con relieve ligeramente plano a ligeramente ondulado y diferentes materiales parentales con predominio de sedimentos heterogéneos.

Para el manejo sustentable de los cultivos en estas condiciones, es importante planificar la aplicación de fertilizantes que contengan P, elemento que forma parte de los ácidos nucleicos, los fosfolípidos, las coenzimas NAD y NADP y, más importante aún, forma parte del ATP, compuesto transportador de energía en la planta. El S, por otra parte, es esencial por su participación en la estructura de las proteínas y como componente de los aminoácidos sulfurados cistina, cisteína y metionina (Marschner, 1995).

Los contenidos de las bases intercambiables (cmol/kg) Ca (14.5), Mg (8.1) y K (0.5) se pueden considerar altos, lo que indica una buena reserva nutritiva derivada de los materiales parentales de la zona, donde predominan sedimentos heterogéneos con presencia de materiales calcáreos. El tipo de arcilla predominante es 2:1, principalmente illita y montmorrillonita (IGAC, 2009) que poseen un alto contenido de elementos nutritivos, por tanto las plantaciones de plátano en estas zonas disponen de mayores reservas en el suelo. Según Junqueira *et al.* (2007) la cantidad y calidad de la producción, el crecimiento y el desarrollo de las plantas son algunos de los aspectos fundamentales de la bananicultura que dependen del estado de nutrición de las plantas. Espinosa *et al.* (1998) citan como requerimientos del cultivo de plátano una adecuada fertilización con N, P y K, basada en el análisis de suelos. Las relaciones catiónicas en los suelos en esta zona fueron: Ca/Mg = 22.6, Ca/K = 31.3, Mg/K = 17.5 y Ca+Mg/K = 48.8.

Suelos de los municipios costaneros del departamento de Córdoba

Los suelos en los municipios costaneros de Moñitos y San Bernardo están compuestos por un epipedón ócrico sobre un subepipedón cámbico, donde predominan principalmente el tipo de arcillas 2:1. En estas zonas, en épocas secas prolongadas y en alguna me-

didada debido a los materiales parentales con influencia calcárea, los suelos presentan altas condiciones vérticas. Además, por las características químicas presentes en estas áreas, se pudo observar mediante la descripción del perfil, la predominancia de Vertisoles, suborden Ustert y el gran grupo Calcicustert. También se encuentran los órdenes Haplustert y en menor extensión, los Haplustepts.

Características químicas de las zonas productoras de plátano en Moñitos. En los muestreos de suelos en esta zona se evidenciaron problemas con la capacidad de enraizamiento del cultivo, debido al tipo de arcilla dominante y a las grietas que se forman en los suelos en épocas secas. Es importante resaltar que estos suelos tienen una influencia marina y materiales parentales de rocas sedimentarias, areniscas y arcillolitas con influencia calcárea

Las características químicas de los suelos (Cuadro 3) mostraron que la reacción es cercana a la neutralidad con pH de 6.5. Según el IGAC (2009) los materiales parentales como rocas sedimentarias arcillolitas, areniscas, calizas, lodolitas poseen un alto potencial nutritivo. Además, en estas condiciones ambientales, con una precipitación aproximada de 1.350 mm/año, no predominan los procesos de lixiviación que contribuyen a aumentar la acidificación de los suelos. Los contenidos de M.O. son menores que 2%, lo que indica que se presenta una rápida mineralización de los residuos vegetales resultantes del manejo del cultivo de plátano.

Los contenidos de P y S fueron en promedio de 16.4 y 9.7 mg/kg, considerados como medio y bajo, respectivamente. En estas condiciones químicas de alta concentración de carbonatos de calcio se pueden presentar problemas de insolubilización de P y S, por la posible formación de fosfato de calcio y sulfato de calcio, lo que puede incidir en la asimilación de estos nutrientes. Zhou (2001) en estudios realizados en suelos calcáreos, encontró que en suelos arcillosos con carbonatos se presenta la mayor parte de adsorción de P, especialmente a bajas concentraciones de este nutriente.

Los contenidos (cmol/kg) de Ca (21.7), Mg (12) y K (1.2) se consideran altos, debido

Cuadro 3. Valores promedios, valores mínimo, máximo, de los contenidos de macronutrientes en suelos de fincas en zonas productoras de plátano en Moñitos-Córdoba, Colombia.

Fincas	Prof. cm	pH	M.O. %	P S		Ca	Mg	K	Na	CTC	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	(Ca+Mg)/K
				mg/kg										
1	0-25	5.6	1.7	70.2	5.0	11.0	5.0	0.9	0.1	17.0	16	12.2	5.6	17.8
2	0-30	5.8	1.3	16.0	3.0	17.5	20.0	0.9	0.3	38.7	37.5	19.4	22.2	41.7
3	0-24	7.0	2.1	60.6	21.4	23.5	10.0	0.7	0.2	34.4	33.5	33.6	14.3	47.9
4	0-36	6.7	1.6	57.4	17.5	20.0	16.5	1.2	0.6	38.3	36.5	16.7	13.8	30.4
5	0-29	5.6	2.3	28.1	20.0	20.0	16.0	2.3	0.2	38.5	36	8.7	7.0	15.7
6	0-27	6.6	2.3	61.4	39.2	28.5	7.5	1.8	0.2	38.0	36	15.8	4.2	20.0
7	0-25	8.9	2.0	22.8	12.1	17.5	10.5	0.9	0.2	29.1	28	19.4	11.7	31.1
8	0-28	7.1	2.9	280.0	10.0	32.5	11.0	1.6	0.1	45.2	43.5	20.3	6.9	27.2
9	0-25	6.2	1.5	117.0	8.0	18.5	7.0	1.0	0.2	26.7	25.5	18.5	7.0	25.5
10	0-35	5.6	2.3	70.2	16.4	28.0	16.0	1.0	0.2	45.2	44	28.0	16.0	44.0
D.E.		1.0	0.5	76.6	9.8	6.1	4.7	0.5	0.1	8.3	8.1	6.8	5.4	10.7
Máximo		8.9	2.9	39.2	9.1	32.5	20.0	2.3	0.6	45.2	44.0	33.6	22.2	47.9
Mínimo		5.6	1.3	3.0	9.4	11.0	5.0	0.7	0.1	17.0	16.0	8.7	4.2	15.7
Prom.		6.5	2.0	16.4	9.7	21.7	12.0	1.2	0.2	35.1	33.7	19.3	10.8	30.1
CV (%)		14.9	22.8	466.8	9.7	28.1	39.0	39.2	58.5	23.5	23.9	35.3	50.1	35.4

Fincas: ¹Guanábano. ² Villa Cota. ³ Villa Mariana. ⁴ Nuevo Oriente. ⁵ Villa Rosmary. ⁶ Villa Merlys. ⁷ Entra si Puedes. ⁸La Sierra. ⁹Temeroso. ¹⁰ Duque.

al origen de estos suelos con influencia marina. Los altos contenidos de estos elementos pueden incidir en la asimilación o absorción de nutrimentos esenciales como P y S, por procesos de insolubilización y formación de fosfato de calcio y sulfato de yeso, que reducen su disponibilidad, por tanto es necesario incorporarlos en los planes de fertilización para el cultivo de plátano en la zona. Las relaciones catiónicas fueron las siguientes: Ca/Mg = 33.7, Ca/K = 19.3, Mg/K = 10.8 y (Ca+Mg)/K = 30.1, consideradas como adecuadas.

Características químicas de las zonas productoras de plátano en San Bernardo.

En esta zona de estudio los resultados analíticos de suelos indican que la reacción es ligeramente ácida con pH de 5.9 (Cuadro 4). En estos suelos, originados a partir de fuentes calcáreas de origen marino, se presentan compuestos de Ca y Mg de poca solubilidad, lo que puede incidir en valores bajos de pH. Los contenidos promedio de M.O. son de 2.1%, lo que indica una alta tasa de mineralización y escasa reposición de materiales residuales del cultivo.

Los contenidos de P y S fueron de 35.3 y 13.8 mg/kg, que se consideran como alto y

bajo, respectivamente. En estas condiciones es necesario incluir en los planes de fertilización estos elementos, debido a su posible insolubilización y al hecho que el método de extracción Bray II sobreestima los contenidos de P en suelos calcáreos, y además de la retención de P en los suelos con concentraciones relativamente altas de carbonatos (Tunesi *et al.*, 1999). Adicionalmente, en estas condiciones es necesario incluir S como fertilizante por su papel en la formación de proteínas. Con la aplicación de este nutriente aumenta la absorción de P, ya que la oxidación de S en H₂SO₄ es especialmente benéfica en suelos alcalinos para aumentar la disponibilidad de nutrientes por reducción del pH (Nielsen *et al.*, 1993). Lindemann *et al.* (1991) consideran que la acidez durante la oxidación del S aumenta la disponibilidad de P en los suelos neutros o básicos, e incrementa la absorción por las plantas de otros elementos como P, Mn, Mg, Ca y SO₄.

Los contenidos (cmol/kg) de las bases Ca (21.7), Mg (11.1) y K (0.9) son altos. De igual forma que en la zona de Moñitos, estos suelos fueron originados de materiales altos en lodolitas y conglomerados, con lentes e

Cuadro 4. Valores promedios, mínimo, máximo, de los contenidos de macronutrientes en suelos de fincas productoras de plátano de San Bernardo-Córdoba, Colombia.

Fincas	Prof. cm	pH	M.O. %	P S		Ca	Mg	K	Na	CTC	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	(Ca+Mg)/K
				mg/kg										
1	0-24	6.0	2.0	23.0	5.0	15.5	17.5	1.5	0.3	34.8	33	10.3	11.7	22.0
2	0-22	5.4	1.7	18.6	3.5	15.0	12.5	0.5	0.2	28.2	27.5	30.0	25.0	55.0
3	0-27	6.6	1.3	62.5	17.5	17.5	16.5	0.9	0.7	35.6	34	19.4	18.3	37.8
4	0-21	5.6	1.5	26.0	24.2	7.5	5.0	0.2	0.2	12.9	12.5	37.5	25.0	62.5
5	0-26	6.1	1.2	48.3	7.0	22.6	6.0	0.6	0.2	29.4	28.6	37.7	10.0	47.7
6	0-30	5.6	2.3	20.1	35.7	28.0	3.5	0.8	0.4	32.7	31.5	35.0	4.4	39.4
7	0-25	5.6	2.9	38.8	12.1	37.6	10.0	1.2	0.3	49.1	47.6	31.3	8.3	39.7
8	0-27	6.3	2.3	38.8	10.0	25.0	9.0	0.8	0.4	35.2	34	31.3	11.3	42.5
9	0-28	6.5	3.4	45.2	9.0	28.5	12.0	1.1	0.3	41.9	40.5	25.9	10.9	36.8
10	0-26	5.5	2.4	31.3	14.2	20.0	18.5	1.1	0.3	39.9	38.5	18.2	16.8	35.0
D.E.		0.4	0.7	13.4	9.3	8.1	5.0	0.4	0.1	9.1	8.8	8.6	6.6	10.6
Máximo		6.6	3.4	62.5	35.7	37.6	18.5	1.5	0.7	49.1	47.6	37.7	25.0	62.5
Mínimo		5.4	1.2	18.6	3.5	7.5	3.5	0.2	0.2	12.9	12.5	10.3	4.4	22.0
Prom.		5.9	2.1	35.3	13.8	21.7	11.1	0.9	0.3	34.0	32.8	27.7	14.2	41.8
CV (%)		7.0	31.9	38.0	67.6	37.3	45.6	41.1	43.0	26.8	26.8	31.2	46.4	25.4

Fincas: ¹Villa Ana. ² Quien va Salir. ³ Villa Gloria. ⁴ Fuente Nueva. ⁵ Esperanza. ⁶ Nuevo Tesoro. ⁷ El Espejo. ⁸ Villa Laura. ⁹ Divino Niño. ¹⁰ Villa Nelly.

influencia calcárea. Las relaciones catiónicas para suelos en esta zona fueron las siguientes: Ca/Mg = 26.8, Ca/K = 31.2, Mg/K = 46.4 y (Ca+Mg)/K = 25.4.

Relaciones catiónicas de bases intercambiables en los suelos de la zona de estudio

En los trabajos de caracterización de la fertilidad del suelo generalmente la interpretación de variables químicas se hace en forma individual, sin analizar las relaciones catiónicas. Mediante este análisis se pueden interpretar los antagonismos iónicos que ocasionan deficiencias en los cultivos. En el análisis de las relaciones catiónicas en los suelos de este estudio se encontraron los rangos siguientes: Ca/Mg = 22 - 33.7, Ca/K = 19.3 - 31.1, Mg/K

= 10.8 - 17.5 (Ca + Mg)/K = 30.1-48.8 (Cuadro 5). Estas relaciones son más amplias que las encontradas por Bolaños *et al.* (2002), en suelos de Quindío (Colombia), con valores para Ca/Mg de 4.5, Mg/K con 0.6, Ca/K de 2.56 y Ca+Mg/K con 3.14. Estos autores exponen que en gran medida este balance determina la absorción de nutrimentos, especialmente para el K, ya que el cultivo de plátano demanda grandes cantidades de este elemento, pues participa en el llenado de frutos, y es necesario para el transporte de azúcares. Similarmente, González *et al.* (2006) encontraron en suelos de Palestina (Caldas), relaciones catiónicas menores a las obtenidas en este estudio, a saber: Ca/Mg de 6, Mg/K de 1.6, Ca/K de 10 y (Ca+Mg)/K de 11.6.

Cuadro 5. Valores promedios de relaciones catiónicas en suelos cultivados con plataneros en fincas de municipios del departamento de Córdoba, Colombia.

	Relaciones cationicas			
	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	(Ca+Mg)/K
D.E.	4.3 - 8.7	6.8 - 11.5	5.4 - 7.4	10.6 - 18.2
Máximo	28.0 - 47.6	33.2 - 57.5	22.2 - 3.0	47.9 - 92.5
Mínimo	12.5 - 16.5	8.7 - 14.1	3.1 - 14.7	13.1 - 22.5
Promedio	22.0 - 33.7	19.3 - 31.2	10.8 - 17.5	30.1 - 48.8
CV (%)	19.2 - 26.8	31.1 - 39.6	40.1 - 50.1	25.3 - 37.4

Fertilidad química de los suelos en las zonas de estudio

Los análisis estadísticos mostraron que no existen diferencias ($P > 0.05$) para las características químicas pH, MO, P, S y Mg de los suelos en el estudio (Cuadro 6), esta condición permite clasificarlos como ligeramente ácidos, con altos contenidos de algunas bases intercambiables. Así, la M.O. (1.87%) y S (11.53 mg/kg) son bajos, lo que se explica por el escaso aporte de N y S originado por la mineralización de la M.O. En estas condiciones se presentan deficiencias de estos nutrientes que deben ser compensadas mediante la aplicación de fertilizantes de síntesis. Grisales y Lescot (1994) recomiendan fertilizar con N sólo cuando el contenido de M.O. es $< 3\%$. Combatt *et al.* (2004) en San Juan de Urabá, Antioquia, Colombia, encontraron respuesta del cultivo de plátano a la aplicación de 200 kg/ha de N y una dosis equivalente de K.

El contenido promedio de P fue alto (42.6 mg/kg), no obstante su disponibilidad puede ser limitada por la formación de compuestos insolubles con Ca. Afif *et al.* (1993) observaron que la absorción de altas tasas de P disponible en el suelo está negativamente correlacionada con la presencia de Ca disponible. Tunesi *et al.* (1999) al estudiar la importancia relativa de las reacciones en la superficie del suelo y la precipitación en la retención de P concluyeron que en suelos con alta reserva de cationes intercambiables la precipitación es el factor predominante en la

reducción de la disponibilidad de P. Rincón *et al.* (1997) consideran que el rango entre 10 y 20 mg/kg de P en el suelo es adecuado para la producción de plátano Hartón. Según Borges y Oliveira (2000) el P es requerido en baja cantidad por el cultivo de plátano, pero es necesario mantener niveles adecuados en el suelo para que la productividad sea máxima, ya que 50% del P absorbido por la planta es exportado por los frutos y se pueden generar deficiencias de este elemento que afectan el crecimiento vegetativo y el desarrollo de raíces.

Se observaron altos contenidos de las bases intercambiables Ca, Mg y K, lo que muestra la alta fertilidad de estos suelos. Según Ramos *et al.* (2006) los suelos de la zona platanera de Moñitos y San Bernardo del Viento presentan altos contenidos de K, pero en su gran mayoría se encuentra en formas no disponibles para las plantas.

Conclusiones

- Los suelos utilizados en cultivos de plátano en los municipios del Alto Sinú, presentan un pH ligeramente ácido, materia orgánica baja, fósforo y azufre de medios a deficientes y contenidos de bases altos.
- En condiciones de la zona costera de Córdoba en los suelos utilizados en plátanos, se presentan reacción del suelo de ligeramente alcalina a ligeramente ácida, con materia orgánica de media a baja, fósforo alto y azufre deficiente, y contenidos de bases intercambiables altas.

Cuadro 6. Variables químicas en suelos de zonas productoras de plátano en fincas del departamento de Córdoba, Colombia.

Municipio	pH 1:1	M.O. (%)	P	S	Ca	Mg	K	Na	CIC
			Mg/kg		cmol ⁺ /kg				
Tierralta	5.79	1.88	29.4	6.56	12.71 b	9.35	0.70 b	0.13 b	22.67 b
Valencia	6.00	1.52	27.5	10.5	14.51 b	8.10	0.51 b	0.18 b	23.30 b
Moñitos	6.51	2.00	78.3	15.26	21.70	11.95	1.23 a	0.23 ab	35.11 a
San Bernardo del Viento	5.92	2.10	35.2	13.82	21.72	11.05	0.87 ab	0.33 a	33.97 a
Prom.	6.05	1.87	42.66	11.53	17.66	10.11	0.82	0.22	28.76
P (0.05)	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	*	*
C.V %	9.99	36.16	100.4	71.62	33.32	39.41	44.59	51.13	25.4

Medias seguidas por la misma letra en la columna no difieren en forma significativa por la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

- Para la siembra del cultivo de plátano en estas condiciones hay que tener presente el uso de fertilizantes con nitrógeno, azufre y fósforo, por los bajos contenidos de materia orgánica y tendencia de insolubilización del fósforo y azufre en las dos zonas de estudio.

Referencias

- Afif, E.; Matar, A.; y Torrent, J. 1993. Availability of phosphate applied to calcareous soils of West Asia and North Africa. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 57:756 - 760
- Bationo, A.; Baethgen, W.; Christianson, C. B.; y Mokwunye, A. U. 1991. Comparison of five soil testing methods to establish phosphorus sufficiency levels in soil fertilized with water and sparingly soluble P sources. *Fert. Res.* 28:271 - 279.
- Belalcazar, S. 1991. El cultivo del plátano (*Musa AAB Simmonds*) en el trópico. Manuel de Asistencia Técnica. no. 50. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) Bogotá. 238 p.
- Bolaños, M.; Morales, H.; y Celis, L. 2002. Fertilización y residualidad de nutrimentos en el cultivo de plátano (*Musa AAB*) en un Andisol del Quindío Colombia: En. *Acrobat. Memoria. XV Reunión. 2002. Asociación de Bananeros de Colombia.* Augura.
- Borges, A. L. y Oliveira, A. M. 2000. Nutrição calagem e adubação. En: Cordeiro, Z. J. (ed.). *Banana: aspectos técnicos.* Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, p. 47 - 59.
- CCI (Corporación Colombia Internacional). 2000. Inteligencia de mercados- SIM. Perfil del producto plátano. Enero- marzo. Bol. no. 7. 12 p.
- Combatt, E.; Martínez, G.; y Barrera, J. 2004. Efecto de la interacción de N y K sobre las variables de rendimiento del cultivo de plátano (*Musa AAB Simmonds*) en San Juan de Urabá, Antioquia. *Temas Agrarios* 9(1):5 - 12.
- Combatt, E.; Martínez, G.; y Polo, J. 2005. Caracterización química y física de los suelos agroforestales de la zona alta de Córdoba. *Temas Agrarios* 10:(2):5 - 14.
- Corpoica (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria). 2001. Diagnóstico de competitividad de la cadena hortifrutícola. Núcleo plátano. Ministerio de Agricultura y desarrollo Rural, Centro de Investigaciones Turipaná, Córdoba. 128 p.
- CVS (Corporación del Valle del Sinú). 2001. Diagnóstico de la microcuenca hidrográfica, quebrada Honda Municipio de Tierralta, Departamento de Córdoba. CVS. Montería. 50 p.
- Espinosa, J.; Belalcazar, S. L.; Chacón, A. y Suárez, D. M. 1998. Fertilización del plátano en densidades altas. *Memorias XIII Reunión de Acobat, Guayaquil. Acobat.* p. 127 - 139.
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 1990. Métodos analíticos de laboratorio de suelos. Bogotá. 5ª edición.
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 2009. Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Córdoba. 501 p.
- FAO 2004. Yearbook production. (statistics series). Roma. 48:164 - 165.
- Grisales, F. y Lescot, T. 1994. Recomendaciones para la fertilización del plátano en la zona cafetera. Centro Nacional de Investigaciones del Café (Cenicafé). 208:1 - 4.
- González, H.; Luna, R.; y Quintero, F. 2006. Respuesta del plátano África-1 a la fertilización edáfica con nitrógeno y potasio. *Agron.* 14(1):81 - 88.
- Junqueira, T. L.; Natale, W.; Bettiol, J.; Mello, M. 2007. Nitrogênio e potássio em bananeira via fertirrigação e adubação convencional-atributos químicos do solo. *Jaboticabal - SP. Rev. Bras. Frutic.* 29(1):143 - 152.
- Lindemann, W. C.; Aburtto, J. J.; Haffner, W. M.; y Bono, A. A. 1991. Effect of sulfur source on sulfur oxidation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55:85 - 90.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd. ed. Academic Press; San Diego, EE.UU.
- Martínez, A. 1995. Descripción de sintomatologías de las deficiencias de elementos mayores y menores en el cultivo del plátano (*Musa AAB Simmonds*). *Suelos Ecuatoriales* 25:61 - 64.
- Muñoz, R. 1994. Los abonos orgánicos y su uso en la agricultura. En: Silva M. F. (ed.). *Fertilidad de suelos diagnósticos y control.* Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Santafé de Bogotá. p. 293 - 304.
- Neilsen, D.; Hogue, E. J.; Hoyt, P. B.; y Drought, B. G. 1993. Oxidation of elemental sulfur and acidification of calcareous orchard soils in southern British Columbia. *Can. J. Soil Sci.* 73:103 - 114.
- Palencia, G.; Mercado, T.; y Combatt, E. 2006. Estudio agroclimatológico del Departamento de Córdoba. Universidad de Córdoba. Editorial Graficas del Caribe. 129 p.
- Ramos, A.; Durango, J.; Grandeth, G.; Diaz, B.; y Barrera, J. 2006. Evaluación de las diferentes formas de potasio en suelos de la zona platanera de Córdoba (Colombia). *Agron. Col.* 24(2):334 - 339 p.
- Rincón, F.; Ramírez, R. y García, J. 1997. Efecto de mezclas y dosis fertilizantes sobre el rendimiento del cultivo del plátano (*Musa AAB*) cv. Hartón, en el Moralito, Municipio Colón del Estado Zulia. *Resumen VII Jornadas Científico Técnicas. Facultad de Agronomía.* p. 58.

- Sarita, L.; y Damatto, E. 2007. Caracterização das Áreas de Cultivo da bananeira Maçã na região de Ribeirão do SUL/SP. Lavras. Ciênc. Agrotec. 31(4):958 - 965.
- Secretaría de Desarrollo Económico y Agroindustrial. 2006. Departamento de Córdoba. Estadísticas Agrícolas. Montería.
- Soil Taxonomy. 1999. Soil taxonomy a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Second edition, by Soil Survey Staff. Natural Resources Conservation Service Number 436 p.
- Statistical Analysis Systems (SAS) Versión 9.1 para windows, User's guide Statistics. Statistical Analysis System Institute. Inc; Cary, NC. 2006.
- Tunesi, S.; Poggi, V.; y Gessa. C. 1999. Phosphate adsorption and precipitation in calcareous soils: the role of calcium ions in solution and carbonate minerals. *Nut. Cycling Agroecos.* 53:219 - 227.
- Zhou, M. Li. 2001. Phosphorus-sorption characteristics of calcareous soils and limestone from the Southern Everglades and adjacent farmlands. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 65:1404 - 1412.