

ARTÍCULO CIENTÍFICO

Diagnosis of chemical soil fertility of the municipalities of Granada and Sylvania for golden cape gooseberry production in Cundinamarca

Diagnóstico de la fertilidad química de los suelos de los municipios de Granada y Sylvania para la producción de uchuva en Cundinamarca

Gabriel Roveda¹, Andrea Peñaranda², Margarita Ramírez², Irma Baquero³, Ricardo Galindo P.²

ABSTRACT

Adequate plant nutrition is essential to get high crop yields and good export quality for the cape gooseberry. In order to characterize the chemical fertility of soils of cape gooseberry producing areas in Cundinamarca, samples were taken in two major producing municipalities, Granada and Sylvania. To this end, we selected 30 farms for soil sampling and subsequent chemical characterization and determination of the nutrient content available to plants. The two municipalities were compared to determine the feasibility of general soil management recommendations, or zone specific ones. Significant differences were found between the two municipalities, especially for organic matter content, but in general, a serious cationic nutrient unbalance and extreme soil acidity were noticed, so management of soil fertility with technical criteria is required. Moreover, the high level of the micronutrients Zn and Mn found in the soils could reduce crop performance. Principal component analysis was done to produce coherent recommendations by zone that should be adjusted at the level of the farms.

Keywords: cation exchange capacity, principal component analysis, soil organic matter, exchangeable acidity

RESUMEN

La nutrición de las plantas de uchuva es determinante para obtener un alto rendimiento del cultivo y garantizar el nivel de calidad del producto para exportación. Con el fin de caracterizar la fertilidad química de los suelos de las zonas productoras de uchuva en Cundinamarca, se realizó un muestreo en dos de los principales municipios productores, como son Granada y Sylvania. Para tal fin se seleccionaron 30 fincas en las cuales se realizó el muestreo de suelos y la posterior caracterización química y su relación con el contenido de nutrientes disponibles para las plantas. Se hizo la comparación de municipios con el fin de determinar la conveniencia de un manejo similar o, en caso contrario, específico por zona. Se encontraron diferencias significativas entre los dos municipios, relacionadas especialmente con el contenido de materia orgánica en el suelo, pero además se observaron serios problemas de desbalance de cationes y alta acidez, que requieren una planificación adecuada de la fertilización. Además, los altos niveles de micronutrientes Mn y Cu pueden ser limitantes para el cultivo de uchuva. Se analizaron los componentes principales asociados a la fertilidad de los suelos y se hicieron recomendaciones generales por zona que deben ajustarse a nivel de finca.

Palabras clave: capacidad de intercambio catiónico, análisis de componentes principales, materia orgánica del suelo, acidez intercambiable

INTRODUCCIÓN

El cultivo de la uchuva en Colombia como producto de exportación, tiene ventajas importantes en competitividad y calidad. A nivel nacional se desarrolla en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Antioquia, principalmente. El principal país de destino es Holanda en Europa. En el año 2011, se exportaron 6.941 t de fruta fresca (Agronet, 2012).

Para garantizar la sostenibilidad de los sistemas productivos, específicamente del cultivo de uchuva, deben manejarse algunos conceptos básicos, como la conservación del suelo, el manejo adecuado de la fertilización para mante-

Fecha de recepción: 08-10-2012
Fecha de aceptación: 30-11-2012

¹ Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá (Colombia).

² Laboratorio de Ecofisiología Vegetal, Centro de Investigación Tibaitatá, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). Mosquera (Colombia). jgalindo@corpoica.org.co

³ Facultad Economía, Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá (Colombia).

ner el balance adecuado de nutrientes, la elaboración de planes de producción agrícola acordes con la oferta edáfica y climática, la potencialidad de la especie o especies vegetales y el nivel de inversión económica de acuerdo con los rendimientos esperados, entre otros (Johnston y Bruulsema, 2006).

La explotación de los suelos sin considerar una adecuada reposición de los nutrientes extraídos, lleva a procesos de degradación y agotamiento de los nutrientes presentes en los suelos. Un manejo eficiente de los suelos requiere de un análisis a nivel de zonas productoras (Cruzate y Casas, 2003), que permita generar recomendaciones con la precisión que se requiere a nivel de finca y a nivel de regiones productivas.

La interpretación del análisis químico del suelo debe hacerse desde el punto de vista del balance de los nutrientes para las plantas, considerando además que la verdadera disponibilidad de los nutrientes puede variar a lo largo del desarrollo de un cultivo (Etchevers, 2000). Algunas propiedades asociadas con la fertilidad del suelo, como la reacción del suelo (pH), capacidad de intercambio catiónico (CIC), conductividad eléctrica (CE), contenido de materia orgánica (MO), porcentaje de saturación de bases, acidez intercambiable, entre otras, así como la información sobre elementos mayores, y menores deben tener una interpretación adecuada que permita la toma de acciones correctivas.

La nutrición vegetal debe considerar además de los aportes minerales del suelo, las complejas interacciones biológicas con microorganismos, especialmente del tipo hongos formadores de micorriza arbuscular (HFMA), que en algunas casos son indispensables para el desarrollo exitoso de los cultivos (Medina, 2001; Gonzáles *et al.*, 2005).

Aunque para el cultivo de uchuva existen algunas recomendaciones de fertilización (Zapata *et al.*, 2002), generalmente, deben ajustarse para incluir la extracción de nutrientes por el cultivo de acuerdo con su nivel de rendimiento. De ser necesaria, la corrección de las condiciones de fertilidad del suelo debe partir del diagnóstico apropiado de las propiedades químicas, físicas y biológicas. Actualmente, se considera que los problemas de rajado de fruto en uchuva, pueden estar asociados en alguna medida a problemas de nutrición de la planta (Fischer, 2005; Gordillo *et al.*, 2004; Martínez *et al.*, 2008; Martínez *et al.*, 2009).

El presente estudio se enfoca en las zonas que demostraron ser buenas productoras de uchuva en Cundinamarca, particularmente los municipios de Granada (2.500 - 2.700 msnm, 14°C) y Silvania (1.470 msnm, 20°C promedio).

En tales zonas se desarrolló una caracterización química de suelos con el objeto de alertar a los agricultores sobre la conveniencia del análisis de suelos para definir planes de fertilización efectivos para el desarrollo de los cultivos, señalar aquellas acciones correctivas del suelo requeridas para establecer el balance de nutrientes y las condiciones favorables al cultivo de uchuva, y finalmente, promover el uso racional de insumos, de forma amigable con el ambiente.

Es importante considerar las limitaciones del análisis de suelo y las condiciones que afectan su validez (Bullock, 2000). En este sentido, los factores a considerar son la época del año, tipo de cultivo, profundidad de la muestra, nivel de los nutrientes, entre otros (Cuesta y Villaneda, 2005). Estos aspectos fueron tenidos en cuenta para la realización del presente estudio.

Finalmente, conviene recordar que las zonas que son tema de este artículo actualmente no son objeto de producción de uchuva, por los problemas de la alta incidencia de *Fusarium*. Sin embargo, la estrategia de análisis aquí presentada, es aplicable a nuevas zonas productoras, en cuanto que se fundamenta en determinar aquellas condiciones de fertilidad del suelo que son favorables para el desarrollo de los cultivos de uchuva.

MATERIALES Y MÉTODOS

Toma de muestras

Con el fin de caracterizar los suelos de las zonas productoras de uchuva en Cundinamarca, se seleccionaron por su importancia los municipios de Silvania y Granada. De estos dos municipios se seleccionaron un total de nueve veredas, cinco de Silvania y cuatro de Granada, de la siguiente forma: Subia Central, Subia Oriental, Subia Alta, Noruega Baja y La Unión, para el municipio de Silvania, y en las veredas Santafé, La 22, El Hoyo y Guasimal para el municipio de Granada. De estas veredas se seleccionaron un total de 30 fincas, 16 de Silvania y 14 de Granada. Este número de fincas corresponde al 10% del total de fincas de productores de uchuva según el censo DANE del 2004.

En la muestra, los lotes dedicados al cultivo de uchuva por finca tuvieron una extensión de 0,8 a 2,5 ha. Este tamaño de lotes es característico de la mayoría de cultivos de uchuva de la región. Cada lote presentaba buen grado de homogeneidad, en cuanto a las características más importantes asociadas con la fertilidad, como son su capacidad productiva, grado de erosión, clase de drenaje, tipo de suelo y tratamientos agrícolas en los últimos años. En general los cultivos se levantaron con sistemas de tutorado de colgadura (Figura 1), con distancias de siembra de 2-3 m entre plantas y 2-3 m entre hileras, según las condiciones del terreno.



Figura 1. Cultivo de uchuva en Cundinamarca. Fotos: M Ramírez

De cada lote en cada finca, se aplicó un muestreo compuesto para obtener una muestra de 1 kg de suelo que se llevó al Laboratorio de Suelos de Corpoica, Tibaitatá (Mosquera, Cundinamarca), con el fin de realizar los análisis de caracterización química.

Análisis químico de las muestras

Las muestras de suelo fueron llevadas y analizadas para determinar las siguientes variables: pH (método potenciométrico, relación suelo-agua 1:2,5), acidez intercambiable (KCl 1N), Al intercambiable, textura (tacto), MO (Walkley-Black Modificado), P (Bray II), S (fosfato monocálcio), bases intercambiables (Ca, Mg, K, Na, en acetato de amonio 1M a pH 7), CICE (Capacidad de Intercambio Catiónico Equivalente por suma de cationes), elementos menores (Fe, Cu, Mn, Zn, con Olsen modificado y B con Azometina H), y conductividad eléctrica, de acuerdo a los protocolos establecidos en dicho laboratorio.

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de la información se aplicaron diferentes técnicas. Para la distribución de valores, se usaron los resultados de los análisis de suelos, análisis de frecuencias sobre los rangos de valores de los contenidos de nutrientes según la clasificación dada por la

quinta aproximación (ICA, 1992); para determinar asociaciones entre propiedades químicas del suelo, se usó el análisis de correlación lineal simple de Pearson, ($P \leq 0,05$) de significancia, entre variables numéricas. Para la comparación de los dos municipios productores, un análisis de varianza sin restricciones, ($P \leq 0,05$) de significancia; y finalmente, para conjugar propiedades del suelo en un número reducido de variables "latentes" (factores) que facilite la interpretación y generación de recomendaciones de manejo de la fertilidad, se manejó un análisis de componentes principales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los suelos de Granada presentaron una textura predominantemente franco arenosa (FA - 78,6% de las muestras), mientras que los suelos de Silvania mostraron una textura principalmente franco arcillosa (FAr - 62,5% de las muestras), y las texturas franco-arenosas (FA) se presentaron solo en un 6,2% de las muestras. Según la CCI (2005), los suelos recomendables para el cultivo de uchuva tienen textura areno-arcillosa (AAr), con buen drenaje interno.

Niveles de disponibilidad y correlaciones entre elementos

El análisis de distribución de frecuencias de los rangos de valores de las propiedades químicas del suelo, se presentan en las Figuras 2 y 3. En el eje de las abscisas aparecen cinco clases de valores para cada propiedad del suelo analizada, y en el eje de las ordenadas aparece la frecuencia y número de fincas cuyos resultados tiene valores correspondientes a cada clase. La primera clase está constituida por los valores inferiores al valor señalado en la figura, y en todos los casos tiene frecuencia cero, lo cual se explica porque la marca de clase respectiva constituye un valor extremo. La segunda clase incluye la frecuencia con que ocurren valores de la propiedad del suelo entre la marca de clase anterior y la presente, y así sucesivamente para las siguientes clases, a excepción de la última clase que corresponde a los valores mayores a la última marca de clase. La segunda, tercera y cuarta clases en los diagramas corresponden a las categorías de fertilidad baja, media y alta, respectivamente para cada propiedad (exceptuando el pH), según el criterio de la quinta aproximación del ICA (1992). A continuación se comentan los resultados para cada variable, comparativamente para los dos municipios.

Respecto a la reacción del suelo o pH, se constata que en Granada un 85,8%, y en Silvania un 66,7% de las muestras tuvieron un pH inferior o igual a 5,5, lo cual corresponde a suelos extremadamente ácidos (ICA, 1992). En esta condición se recomienda realizar el encalado

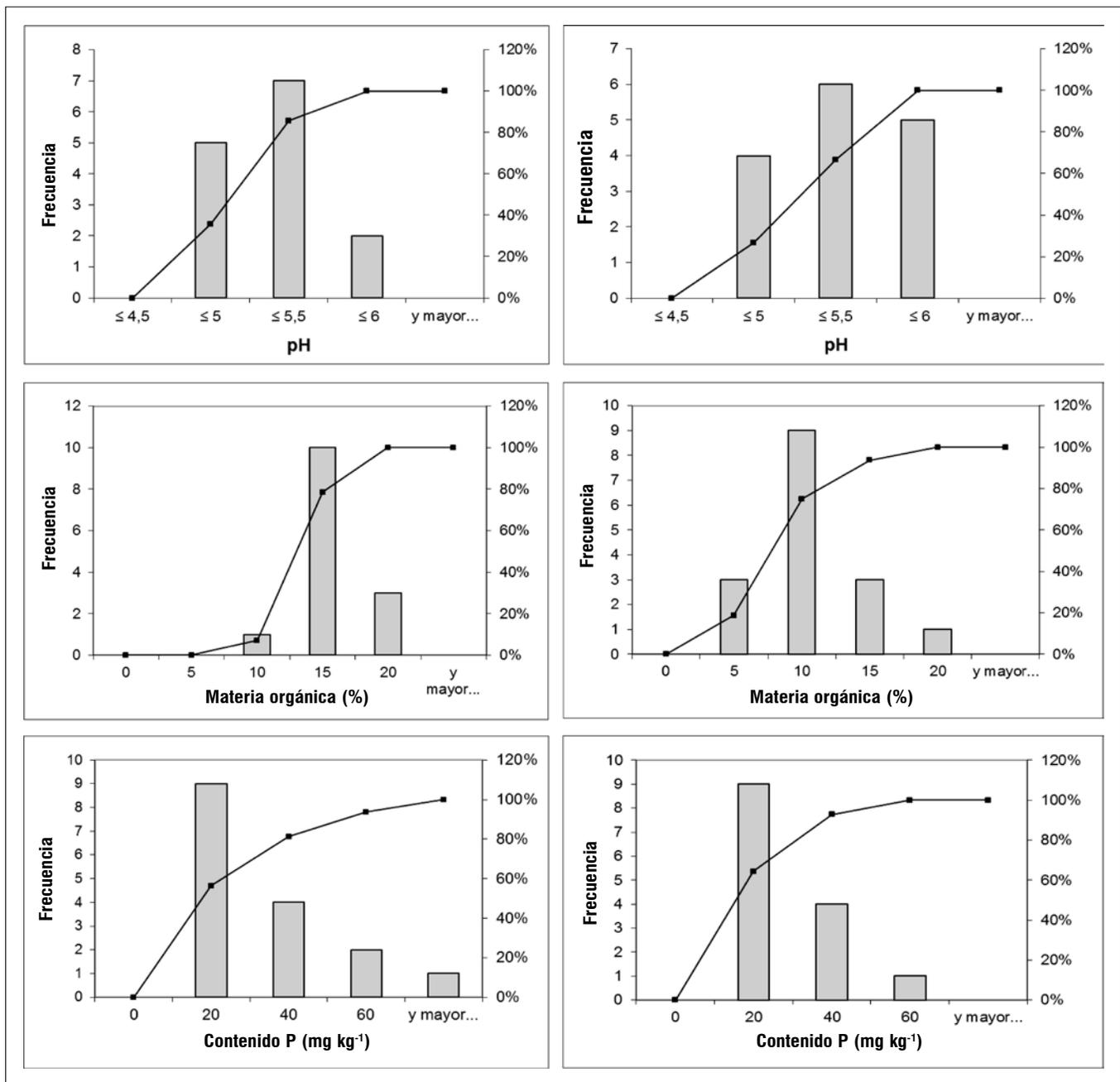


Figura 2. Análisis de frecuencias para las propiedades del suelo (pH, MO, y P) según una muestra de 30 fincas productoras de uchuva de los municipios de Granada y Silvania (Colombia). Las barras corresponden a las frecuencias y la línea a los porcentajes de las fincas productoras de uchuva

al suelo para incrementar el pH, con el fin de favorecer la disponibilidad de nutrientes para la planta (Marín y Silva, 1987). La corrección del pH se puede realizar con la aplicación de cal dolomítica, especialmente cuando se presentan deficiencias de Mg en los suelos o se presentan desbalances en las relaciones Ca, Mg y K.

De acuerdo con el IPNI (1999) la acidez del suelo está determinada por aspectos de génesis de suelos, manejo cultural, condiciones climatológicas de la zona, y la actividad biológica, algunos de los cuales se detallan a

continuación: especialmente las zonas de alta precipitación, presentan suelos con alta lixiviación de cationes que favorecen la acidez; también se presenta acidez por la actividad microbiana del suelo y la respiración de las raíces de las plantas, produciendo CO₂ que se disuelve en el agua, formando ácido carbónico; la vegetación y la materia orgánica en descomposición también liberan ácidos orgánicos que generan acidez en el suelo.

Sin embargo, según los análisis de correlación que se realizaron con los datos de las zonas productoras

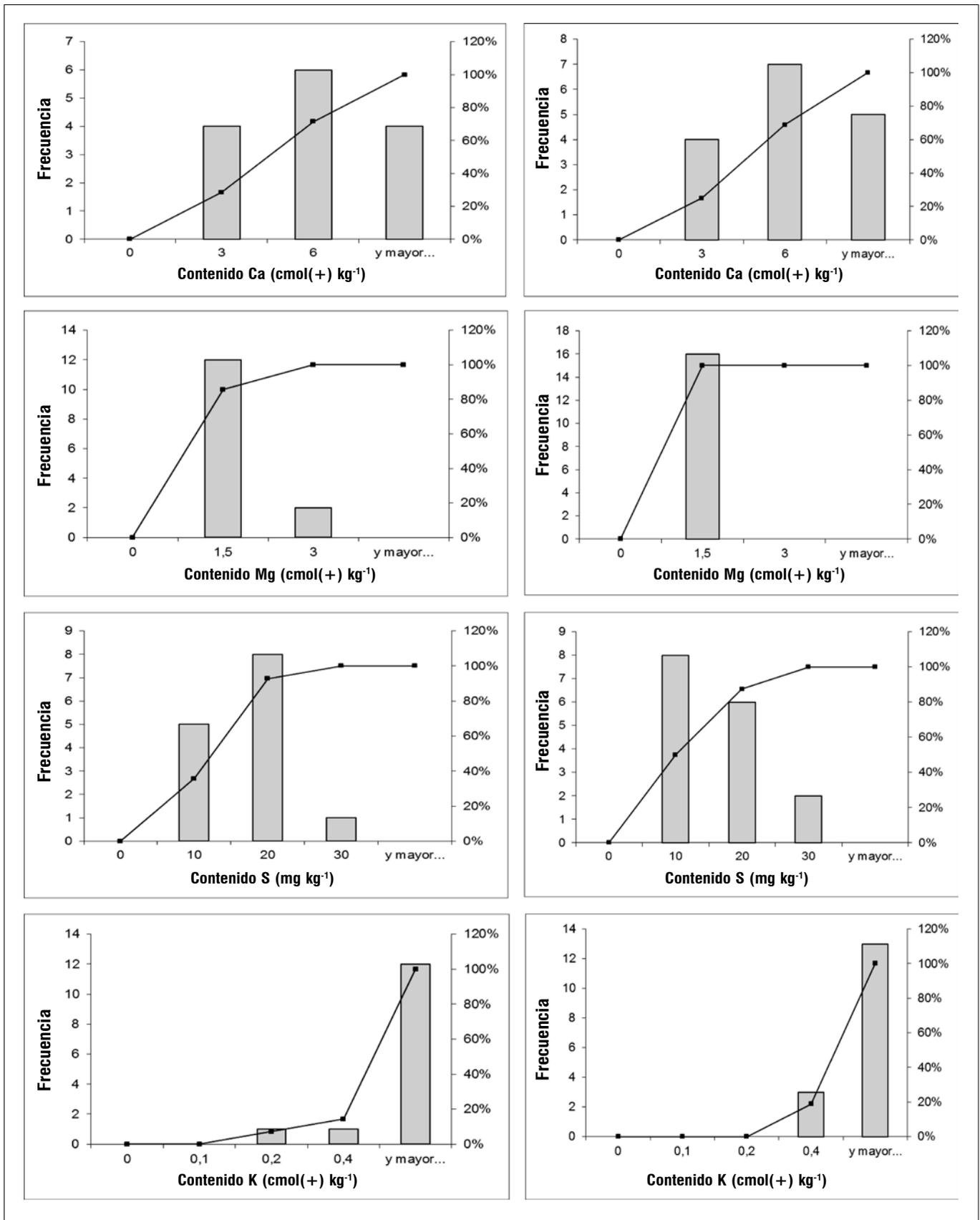


Figura 3. Análisis de frecuencias para las propiedades del suelo, contenidos de Ca, Mg, S y K, según una muestra de 30 fincas productoras de uchuva de los municipios de Granada y Silvania (Colombia)

de uchuva, el pH varió sin relación significativa con el contenido de MO ($r = -0,28$, $P = 0,1347$). En cambio, los contenidos de bases como el Ca y Mg si mostraron correlación con el pH ($r = 0,58$, $P \leq 0,01$ y $r = 0,60$, $P \leq 0,01$, respectivamente), al igual que la CICE ($r = 0,45$, $P = 0,01$), en cuanto que a mayor contenido de bases, se observa una tendencia a aumentar el pH, como es lo esperado (Marín y Silva, 1987).

La correlación más alta del pH del suelo se presentó con la acidez Al+H, de forma negativa, es decir, a mayor acidez intercambiable, menor pH ($r = -0,85$, $P \leq 0,01$). Del análisis de los datos de esta relación, se obtiene que por cada 0,1 meq Al+H adicional, el pH disminuyó en 0,17 unidades (Figura 4). Es de aclarar, que el nivel promedio de contenido de Al fue cercano a cero ($0,02 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$) lo cual correspondió a una saturación del complejo de cambio menor del 1%, niveles que no representan riesgo para los cultivos.

Estos resultados son similares a los que obtuvo Oliva (2009) en suelos de Centroamérica (Salvador, Honduras y Nicaragua), en cuanto que la acidez intercambiable tuvo relación inversa con el pH del suelo. En tales suelos, la acidez intercambiable presentó un comportamiento independiente de los contenidos de arcilla y MO, de modo que el factor determinante fue el material parental del suelo. En el presente caso, tampoco se observó correlación entre la acidez intercambiable y el contenido de MO.

En relación con los contenidos de materia orgánica (MO) de las zonas productoras de uchuva de los municipios de Granada y Silvania, se observó que en Granada un 92,9% de las fincas presentó niveles medios o altos, mientras que Silvania, esta misma condición, ocurrió sólo en un 25% de las fincas.

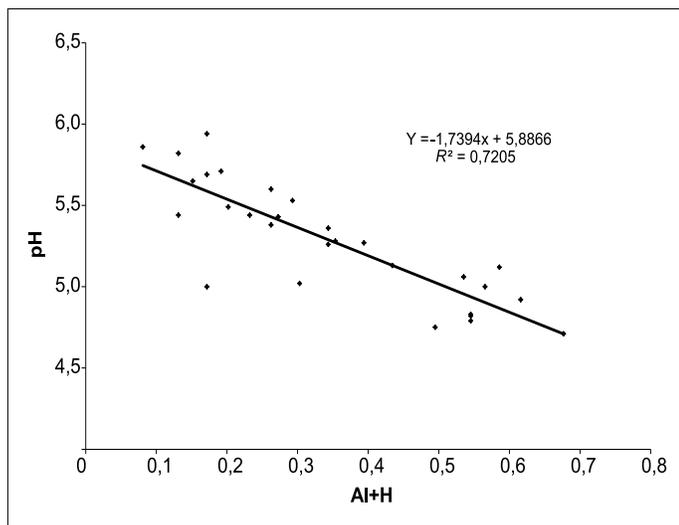


Figura 4. Regresión entre la acidez intercambiable Al+H y el pH del suelo, en las zonas productoras de uchuva en Cundinamarca (Colombia)

Según el análisis de los datos, la variación del contenido de MO en el suelo se correlacionó con los contenidos disponibles de Zn y Mn ($r = 0,61$, $P \leq 0,01$, y $r = 0,61$, $P \leq 0,01$, respectivamente). Es posible que el tipo de materia orgánica presente en el suelo, favorezca la disponibilidad de estos microelementos catiónicos, por la retención en los coloides orgánicos. Estos elementos también pueden provenir de agroquímicos. El contenido de materia orgánica, también mostró correlación positiva con la CE ($r = 0,54$, $P \leq 0,01$). La CE puede aumentar con la liberación de sales resultantes de la mineralización de la MO (Gordillo y Chávez, 2010), aunque en el caso presente los niveles de CE son bajos y adecuados para los cultivos.

En cuanto al contenido de fósforo P, el 64,3% y el 56,2% de las muestras de fincas en Granada y Silvania, respectivamente, presentaron niveles bajos (menores o igual a 20 mg kg^{-1}), lo cual se puede explicar en parte por la alta capacidad de fijación de fosfatos en los suelos de la región Andina, que pueden contener niveles importantes de ceniza volcánica (Andosoles), característicos de esta zona productora de uchuva (IGAC, 2000). Sólo un 7,2% y 6,2% de las fincas de Granada y Silvania, respectivamente, presentaron niveles altos, por encima de 40 mg kg^{-1} . Únicamente la presencia de Al+H presentó correlación positiva, significativa con el contenido de P ($r = 0,40$, $P = 0,03$), independientemente del nivel de pH. Según Ward *et al.* (2011) el ortofosfato (P_i) puede provenir de fosfatos de Al^{3+} en suelos ácidos, el cual puede quedar disponible para la planta con la exudación de ácidos orgánicos por parte de las raíces.

Según Takeda *et al.* (2009), la disponibilidad del fósforo en los andosoles se ve limitada por procesos de fijación. Pero cuando están presentes en el suelo los HFMA, estos contribuyen al transporte del fósforo disponible en el suelo que por alguna razón no puede ser tomado directamente por la planta. Los microorganismos solubilizadores del fósforo (PSM o *Phosphate Solubilizer Microorganisms*), la mayoría bacterias, como las *Pseudomonas*, *Enterobacter* y *Bacillus*, además de algunos hongos, especialmente *Penicillium* y *Aspergillus*, también juegan un papel importante para la disponibilidad del P para las plantas (Osorio y Pérez, 2001). Estos aspectos biológicos juegan por lo tanto, un papel importante en suelos tropicales para la disponibilidad del P.

En cuanto a los niveles de S presente en el suelo, fueron bajos (menores o iguales a 10 mg kg^{-1}) en un 35,7% y 50% de las fincas de Granada y Silvania, respectivamente. El contenido de S mostró una correlación con la CE del suelo ($r = 0,68$, $P \leq 0,01$). Al respecto, Sierra *et al.* (2003) observaron la misma correlación en suelos tratados con S, y explicaron que este en la forma de H_2SO_4 reacciona con el $CaCO_3$, lo cual genera $CaSO_4$ con el consiguiente incremento de la salinidad.

El S se encuentra en estados de oxidación que van desde +6 hasta -2, de los cuales el estado más oxidado (SO_4^{2-}) es el que generalmente utiliza la planta, proveniente del suelo (Vong *et al.*, 2007). La oxidación del S se lleva a cabo en el suelo principalmente por la acción de los microorganismos del suelo, los cuales a su vez están asociados con los contenidos de MO (Benavides, 1998).

Respecto a los cationes del complejo de cambio, los niveles de Ca y Mg fueron bajos, y los de K altos, como se describe a continuación. El contenido de Ca en estos suelos, el nivel medio fue el predominante (mayor de 3 y menor o igual a 6 $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$) en ambos municipios, de modo que el 71,4% y el 68,8% de las fincas de Granada y Silvania, respectivamente, presentaron niveles medios o bajos de Ca. Un 85,8% de las fincas muestreadas en Granada y el 100% de las fincas de Silvania presentaron bajos contenidos de Mg en el suelo con valores que oscilaron entre 0,3 y 1,5 $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$.

En contraste a los bajos contenidos de Ca y Mg, el 85,7% y el 81,2% de las fincas de Granada y Silvania, respectivamente, presentaron niveles altos de K, con valores desde 0,44 hasta 2,30 $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$. Los valores obtenidos de K en promedio, fueron altos a pesar de ser suelos ácidos, posiblemente debido al manejo inadecuado de la fertilización mineral. Se observaron desbalances entre los contenidos de cationes, que desfavorecen la absorción de Ca y Mg por las plantas. Idealmente, la relación Ca/Mg es de 3 - 5, y de Ca/K de 12 - 18 (ICA, 1992).

Análisis estadístico inferencial

El análisis estadístico descriptivo de los resultados de caracterización química de las muestras de suelo se pre-

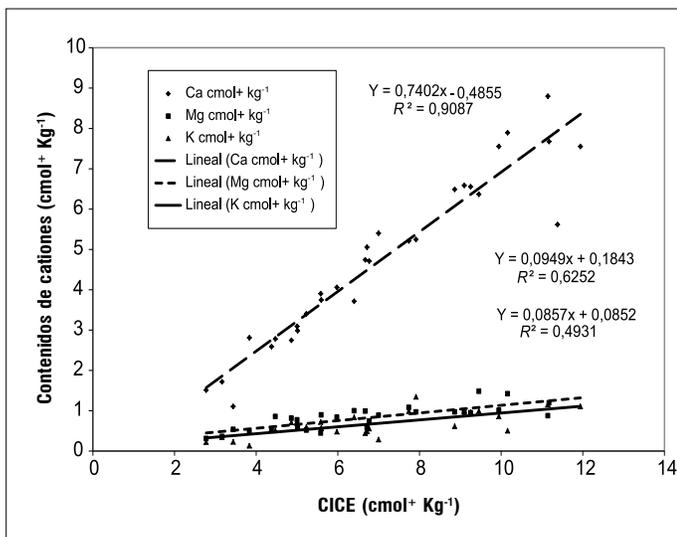


Figura 5. Relaciones entre la capacidad de intercambio catiónico equivalente (CICE) y los contenidos de cationes Ca, Mg y K, en suelos productores de uchuva de Cundinamarca (Colombia)

senta en la Tabla 1. Cuatro de las propiedades analizadas presentaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$), a saber: contenidos de MO, CE, contenidos de Zn y Mn. Para la muestra de las cuatro variables mencionadas, el valor promedio de las fincas de Granada fue superior al promedio de las fincas de Silvania.

El análisis de componentes principales se aplicó sobre las variables que presentaron correlaciones significativas con al menos otra variable. Por lo tanto, se descartaron los elementos menores B, Fe, Cu, los cuales presentaron un comportamiento independiente en cuanto a su variabilidad. Respecto a estos elementos, los niveles de Fe y Cu fueron altos para los suelos analizados, y el nivel de B fue medio, según la quinta aproximación.

El B junto con el Ca, son elementos importantes para el desarrollo de las paredes celulares, y de hecho, hasta un 90% del B celular, se localiza en la pared celular (Blevins y Lukaszewski, 1998). De hecho, los primeros síntomas

Tabla 1. Promedios más o menos el error estándar de las propiedades químicas del suelo de Granada y Silvania, interpretación del promedio y resultados de la comparación entre los dos municipios con el análisis de varianza

Municipio	Promedios \pm error estándar / interpretación		Anava ⁽¹⁾	Valor P H ₀ : $\mu_G = \mu_S$
	Granada	Silvania		
Observaciones	14	16		
Propiedades				
pH	5,21 \pm 0,08	EA ⁽²⁾ 5,32 \pm 0,10	EA	0,5784
MO (%)	12,31 \pm 0,78	A 7,82 \pm 0,87	A	0,0015*
CE (dS m ⁻¹)	1,14 \pm 0,29	B 0,56 \pm 0,07	B	0,0161*
CICE (cmol+ kg ⁻¹)	7,05 \pm 0,78	7,01 \pm 0,63		0,7650
Al+H (cmol+ kg ⁻¹)	0,35 \pm 0,05	0,40 \pm 0,08		0,4675
Na (cmol+ kg ⁻¹)	0,25 \pm 0,02	B 0,24 \pm 0,01	B	0,9881
Elementos mayores				
P (mg kg ⁻¹)	17,67 \pm 4,22	B 29,34 \pm 8,78	M	0,2203
S (mg kg ⁻¹)	13,64 \pm 1,80	M 12,18 \pm 1,88	M	0,6534
Ca (cmol+ kg ⁻¹)	4,59 \pm 0,52	M 4,83 \pm 0,56	M	0,6980
Mg (cmol+ kg ⁻¹)	1,04 \pm 0,19	B 0,84 \pm 0,07	B	0,6047
K (cmol+ kg ⁻¹)	0,81 \pm 0,14	A 0,70 \pm 0,11	A	0,9771
Microelementos				
Fe (mg kg ⁻¹)	143,50 \pm 16,93	A 191,88 \pm 24,20	A	0,0716
Cu (mg kg ⁻¹)	10,45 \pm 2,43	A 9,48 \pm 2,12	A	0,6628
Mn (mg kg ⁻¹)	17,28 \pm 2,46	A 10,46 \pm 1,44	A	0,0397*
Zn (mg kg ⁻¹)	13,98 \pm 1,96	A 7,45 \pm 1,06	A	0,0104*
B (mg kg ⁻¹)	0,26 \pm 0,05	M 0,28 \pm 0,03	M	0,8665
Relaciones de cationes				
Ca/Mg	5,22 \pm 0,56	A 5,59 \pm 0,44	A	0,8387
Ca/K	7,10 \pm 1,22	B 7,89 \pm 1,09	B	0,7939
Mg/K	1,42 \pm 0,20	B 1,49 \pm 0,19	B	0,8741
(Ca+Mg)/K	8,51 \pm 1,38	B 9,38 \pm 1,26	B	0,8008

⁽¹⁾ Análisis de varianza con 27 grados de libertad del error.
⁽²⁾ Interpretación según la Quinta Aproximación del ICA: A alto, M, medio y B bajo, EA extremadamente ácido.
 * Diferencias significativas al 5% entre los promedios poblacionales μ de los dos municipios.

de deficiencia de B incluyen anormalidades en la pared celular y la lamela media. Para el caso específico de la uchuva, Cooman *et al.* (2005) aseguraron que la incidencia del rajado del fruto, se aumentó con la deficiencia de Ca y B en ensayos de laboratorio, aunque el rajado también estuvo presente en el tratamiento testigo con fertilización completa desde el primer mes de cosecha. En el presente caso, el nivel medio de B se refiere al concepto general de la quinta aproximación para suelos colombianos (ICA, 1992) que para el caso de una especie particular como la uchuva debe ser ajustado con datos experimentales en un futuro.

Por lo tanto, las variables que entraron en el análisis de componentes fueron: pH, MO, P, S, Al+H, Ca, Mg, K, Na, CICE, CE, Mn y Zn. Como resultado de la descomposición de la matriz de correlación, se encontraron cuatro factores que explicaron el 81% de la variabilidad total para el conjunto de trece variables seleccionadas. Se aplicó la rotación Varimax para ayudar a la definición de los componentes. A continuación se describe cada uno de los componentes resultantes.

De acuerdo con estos resultados, el primer componente, Figura 5, reúne algunas características asociadas al complejo de cambio del suelo, como son la CICE y los contenidos de bases en el suelo (Ca, Mg, K y Na). Este componente recoge un 33,4% de la variabilidad total de las variables a la matriz de correlación, y además, presentó una alta correlación con la CICE ($r = 0,952$, $P \leq 0,01$).

El segundo componente, está asociado al pH del suelo y su relación inversa con la acidez intercambiable, propiedades que determinan la disponibilidad de nutrientes y las necesidades de corrección de la reacción del suelo. Este segundo componente aporta un 24,1% de la participación de las variables a la matriz de correlación. El análisis de correlación entre este segundo componente y el pH del suelo, fue alto y negativo ($r = -0,795$, $P \leq 0,01$). Este resultado ratifica la importancia de la acidez intercambiable para el control del pH del suelo (ICA, 1992).

El tercer componente aportó un 15,1% de la variabilidad total, se relaciona con el contenido de materia orgánica del suelo que se asoció con la disponibilidad de los micronutrientes Mn y Zn. Este componente es el único que presentó diferencias significativas en el análisis de varianza por efecto de la localidad: Granada o Sylvania (dicho análisis no está incluido en este artículo). Como los coeficientes de este componente fueron en su mayoría negativos, también presentó una correlación negativa con los contenidos de MO ($r = -0,898$, $P \leq 0,01$).

Finalmente, se observó un cuarto componente asociado a la CE, en relación con los contenidos de S. Como se anotó anteriormente, el nivel promedio de CE es bajo para los dos municipios según las muestras analizadas, inferior a

2,0 dS m⁻¹. Este componente explica un 9,2% de la varianza total (Tabla 2). La correlación de este cuarto componente con la CE fue negativa ($r = -0,719$, $P \leq 0,01$).

Tabla 2. Aporte a la explicación de la varianza y vectores propios de los primeros cuatro factores del análisis de componentes principales sobre las propiedades del suelo de las zonas productoras de uchuva en Granada y Sylvania, Cundinamarca

Aporte	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
% de varianza	33,40	24,06	15,10	9,15
Acumulado	33,40	57,46	72,57	81,72
Vectores propios				
pH	0,3959	-0,7948	0,0515	0,2683
MO (%)	-0,0162	0,0921	-0,8982	-0,0151
P (mg kg ⁻¹)	0,1253	0,4799	0,5290	-0,5324
S (mg kg ⁻¹)	0,1771	0,0973	-0,0227	-0,9153
Al+H (cmol kg ⁻¹)	-0,0921	0,9707	0,0308	0,0360
Ca (cmol+ kg ⁻¹)	0,9176	-0,0757	-0,2524	-0,0342
Mg (cmol+ kg ⁻¹)	0,8271	-0,1480	0,0301	-0,1517
K (cmol+ kg ⁻¹)	0,6420	-0,0903	-0,0120	-0,5961
Na (cmol+ kg ⁻¹)	0,6832	0,0240	0,0385	-0,0201
CICE (cmol+ kg ⁻¹)	0,9523	-0,0195	-0,1994	-0,1306
CE (dS m ⁻¹)	-0,0268	0,2329	-0,5478	-0,7189
Mn (mg kg ⁻¹)	0,1836	0,7428	-0,4561	-0,1360
Zn (mg kg ⁻¹)	0,3627	0,0770	-0,7807	-0,1450

En total, se puede resumir de las 13 variables originales 4 abarcan el 81,7% del aporte total de las variables. Es importante resaltar que, según estos resultados, el componente asociado a la CICE, refleja un comportamiento independiente del componente asociado a la MO (Figura 6). Esto significa que frente a la variación de los contenidos de MO, la CICE pudo mantenerse estable, especialmente entre municipios. Más aún, el análisis de correlación simple entre la CICE y la MO en Granada fue positivo y significativo ($r = 0,60$, $P = 0,02$), mientras que en Sylvania, por el contrario, la correlación entre estas dos propiedades no fue significativa ($r = -0,09$, $P = 0,73$). Aparentemente, la CICE del suelo de Sylvania se puede atribuir al tipo de arcilla predominante (Otero *et al.*, 1998), más que a la MO.

Hay que resaltar que la CICE y el contenido de cationes, resultó ser el factor más importante en la fertilidad de los suelos que se dedicaron al cultivo de uchuva, pero se presentan desbalances que deben corregirse, especialmente por los excesos de K respecto a los contenidos de Mg y Ca. Es posible que esto sea el resultado de las inadecuadas prácticas de fertilización, por lo cual es necesario ajustar los aportes de acuerdo con el contenido de elementos en el suelo y el balance requerido para su disponibilidad (Gómez, 2012).

También hay que resaltar que el componente asociado a la reacción del suelo indica que la propiedad más determinante en este sentido es el contenido de Al+H, o acidez intercambiable, más que el contenido de materia orgánica, similar a

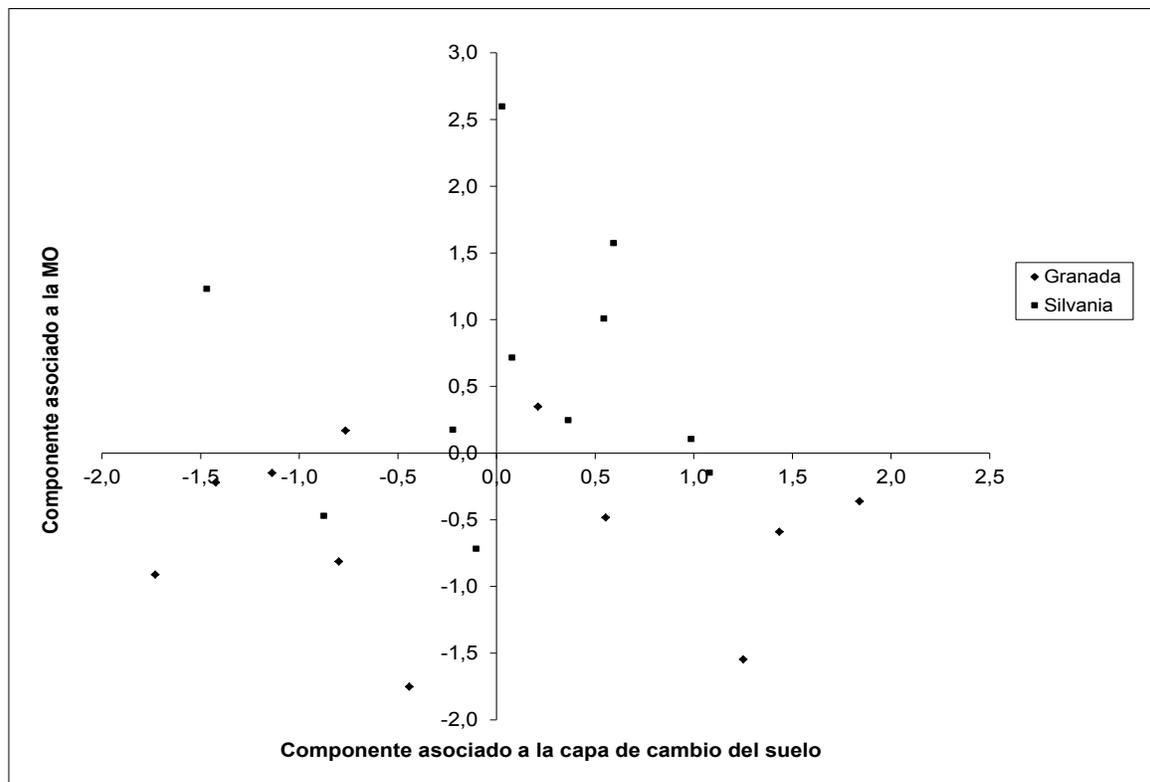


Figura 6. Comparación de dos municipios productores de uchuva (Granada y Silvania) por el componente orgánico del suelo y las propiedades de la capa de cambio en el análisis de componentes principales

los resultados obtenidos por Oliva (2009) en suelos de centroamérica. Los elementos menores Mn y Zn se presentaron asociados con la MO, y sus niveles son altos, lo cual puede originar toxicidad especialmente por parte del Mn (Shi y Zhu, 2008). La alta concentración de estos microelementos pudo haberse favorecido por la acidez del suelo (Gómez, 2012) y por aplicaciones de plaguicidas y fertilizantes que los contienen (Sparks, 2005). Finalmente, la relación de la CE con los contenidos de S, como se presenta en el cuarto componente del análisis multivariado, presentó un valor promedio sin diferencias significativas entre municipios, y en todo caso, los valores de CE son bajos.

En la Figura 6, se observa como los suelos de Granada y Silvania no difieren en forma importante por su comportamiento en cuanto al componente asociado al complejo de cambio de cationes del suelo, pero sí en cuanto al componente asociado a la materia orgánica del suelo. La muestra de Silvania indica una tendencia de los puntos a ubicarse en el lado superior del eje de las abscisas, contrario a lo que ocurre con la muestra de Granada. Como el componente asociado a la MO tiene una correlación negativa se explica porque en este caso Granada presenta valores en su mayoría negativos.

CONCLUSIONES

Según los resultados del muestreo, los suelos de las zonas productoras de uchuva presentan fuertes desbalances

nutricionales y deficiencias en contenidos de nutrientes para el desarrollo de los cultivos, por lo cual se requiere la elaboración de planes de fertilización que garanticen una adecuada sostenibilidad del sistema.

Según estos resultados el pH del suelo se correlaciona con la acidez intercambiable. La reacción del suelo resultó extremadamente ácida, y para corregirla debe contemplarse la adición de cal dolomítica según las recomendaciones técnicas ajustadas a cada caso, que además de ayudar a aumentar el pH, aporta Ca y Mg que ayudará a mejorar el balance de cationes.

Los suelos difieren significativamente entre las zonas productoras de Granada y Silvania, especialmente en cuanto a los contenidos de materia orgánica y contenidos de algunos elementos menores (Mn y Zn). Estos elementos menores se presentan en exceso, pero si se aumenta el pH como se recomendó en el punto anterior, se reducirá su solubilidad y toxicidad para las plantas. También debe manejarse adecuadamente la aplicación de fungicidas que contengan estos minerales, o utilizarse métodos alternativos, como los biológicos.

Estos resultados deben complementarse con estudios adicionales que contemplen la actividad biológica de los suelos y la posibilidad de utilizar biofertilizantes para contribuir a la disponibilidad de los nutrientes, especialmente de P.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agronet. 2012. Exportaciones 1991-2012 de uchuvas (uvillas) (*Physalis peruviana*) fresca. En: <http://www.agronet.gov.co/www/htm3b/ReportesAjax/VerReporte.aspx>; consulta: noviembre, 2012.
- Benavides A. 1998. El azufre en las plantas. México DF: Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Blevins D, Lukaszewski K. 1998. Boron in plant structure and function. *Ann Rev Plant Physiol Plant Mol Biol* 49:481-500.
- Bullock D. 2000. Análisis de suelos, algunas ideas acerca de la precisión y producción bajo siembra directa. En: Conferencia XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo – AACS. Mar de Plata, Argentina. p. 11
- Cooman A, Torres C, Fischer G. 2005. Determinación de las causas del rajado del fruto de uchuva (*Physalis peruviana* L.) bajo cubierta. II. Efecto de la oferta de calcio, boro y cobre. *Agron Colomb* 23:74-82.
- CCI, Corporación Colombia Internacional. 2005. Uchuva. Perfil de producto, inteligencia de mercados. Publicación No. 34. Bogotá.
- Cooman A, Torres C, Fischer G. 2005. Determinación de las causas del rajado del fruto de uchuva (*Physalis peruviana* L.) bajo cubierta. II. Efecto de la oferta de calcio, boro y cobre. *Agron Colomb* 23:74-82.
- Cruzate G, Casas R. 2003. Balance de nutrientes. *Rev Fertilizar INTA* 8, (Número especial):7-13.
- Cuesta P, Villaneda E. 2005. El análisis de suelos: toma de muestras y recomendaciones de fertilización para la producción ganadera. En: Cuesta P, Martín M, editores. Producción y utilización de recursos forrajeros en sistemas de producción bovina de las regiones caribe y valles interandinos. Manual Técnico. Bogotá: Corpoica. pp. 1-10.
- DANE, Departamento Administrativo Nacional de Estadística 2004. I Censo Nacional de 10 Frutas Agroindustriales y Promisorias. Bogotá
- Etchevers J. 2000. Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutrimental de los cultivos. Texcoco, México: Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados.
- Fischer G. 2005. El problema del rajado del fruto de la uchuva y su posible control. En: Fischer G, Miranda D, Piedrahíta W, Romero J, editores. Avances en cultivo, poscosecha y exportación de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en Colombia. Bogotá: Unibiblos, Universidad Nacional de Colombia. pp. 55-82.
- Gómez MI. 2012. Fertilización de frutales. En: Varios autores. Manual para el cultivo de frutales para el trópico. Bogotá: Produmedios. pp. 141-168.
- González J, Iglesias M, Venialgo C. 2005. Presencia de micorrizas vesículo-arbusculares en series de suelos con distintas situaciones de uso. Sgto Cabral, Argentina: Comunicaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad Nacional de Nordeste.
- Gordillo F, Chávez E. 2010. Evaluación comparativa de la calidad del compost producido a partir de diferentes combinaciones de desechos agroindustriales azucareros. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral, Centro de Investigación Científica y Tecnológica.
- Gordillo O, Fischer G, Guerrero R. 2004. Efecto del riego y de la fertilización sobre la incidencia del rajado en frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) en la zona de Sylvania (Cundinamarca). *Agron Colomb* 22(1):53-62.
- ICA, Instituto Colombiano Agropecuario. 1992. Fertilización en diversos cultivos. Quinta aproximación. Manual de Asistencia Técnica No. 25. Bogotá: ICA.
- IGAC, Instituto Geográfico Agustín Codazzi; DANE, Departamento Nacional de Estadística. 2000. Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Cundinamarca. Bogotá.
- IPNI, International Plant Nutrition Institute. 1999. Phosphorus interactions with other nutrients. *Better Crops* 83(1):11-13.
- Johnston A, Bruulsema T. 2006. Using fertilizer efficiently. Boletín. Norcross, Georgia: Potash and Phosphate Institute (PPI); Potash and Phosphate Institute of Canada (PPIC),
- Marín JG, Silva L. 1987. Acidez y enclamiento de los suelos. En: Los suelos y su fertilidad. Bogotá: Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). pp. 3-37.
- Martínez F, J Sarmiento, Fischer G, Jiménez F. 2008. Efecto de la deficiencia de N, P, K, Ca, Mg y B en componentes de producción y calidad de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Agron Colomb* 26(3):389-398.
- Martínez F, Sarmiento J, Fischer G, Jiménez F. 2009. Síntomas de deficiencia de macronutrientes y boro en plantas de uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Agron Colomb* 27(2):169-178.
- Medina M. 2001. Importancia de la rizósfera para el manejo ecológico de los cultivos. En: Memorias del X Congreso de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Medellín, Colombia. pp. 89-101.
- Oliva D. 2009. Determinación de la acidez intercambiable ($Al^{3+}+H^{+}$) a partir del pH para la estimación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en suelos de la cuenca del Pacífico en el Salvador, Honduras y Nicaragua [Trabajo de grado]. Tegucigalpa: Ciencia y Producción Agropecuaria, Zamorano.
- Osorio N, Pérez J. 2001. Microbial solubilization of phosphates in soil. A review. En: Memorias del X Congreso de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Medellín, Colombia. pp. 103-116.
- Otero L, Sastriquer F, Morales M. 1998. Participación de la arcilla y la materia orgánica en la capacidad de intercambio catiónico de vertisoles de la provincia de Granma. *Terra* 16:189-194.
- Shi Q, Zhu Z. 2008. Effects of exogenous salicylic acid on manganese toxicity, element contents and antioxidative system in cucumber. *Environ Exp Bot* 63:317-326.
- Sierra C, Lancellotti A, Vidal I. 2007. Azufre elemental como corrector del pH y la fertilidad de algunos suelos de la III y IV región de Chile. *Agric Téc* 67(2):173-181.
- Sparks D. 2005. Toxic metals in the environment: the role of surfaces. *Elements* 1:193-197.
- Takeda M, Nakamoto T, Miyazawa K, Murayama T, Okada H. 2009. Phosphorus availability and soil biological activity in an Andosol under compost application and winter cover cropping. *Appl Soil Ecol* 42:86-95.
- Vong PC, Nguyen C, Guckert A. 2007. Fertilizer sulphur uptake and transformations in soil as affected by plant species and soil type. *Eur J Agron* 27:35-43.
- Ward C, Kleinert A, Scortecci K, Benedito V, Valentine A. 2011. Phosphorus-deficiency reduces aluminium toxicity by altering uptake and metabolism of root zone carbon dioxide. *J Plant Physiol* 168:459-465.
- Zapata J, Saldarriaga A, Londoño M, Díaz C. 2002. Manejo del cultivo de la uchuva en Colombia. Rionegro, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).