

Encalado en banda como fuente de calcio para el maíz (*Zea mays* L.)

Ricardo Ramírez^{1*}, Giovani Zacarias² y Deyanira Lobo¹

¹Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Apdo. 4579. Maracay 2101, Aragua, Venezuela.

²Instituto Nacional de Tierras, Caracas, Venezuela.

RESUMEN

La aplicación de cal, como enmienda, a los suelos ácidos se hace al voleo y se la incorpora con rastra. Esta práctica no es aplicable en los sistemas de siembra directa o de labranza mínima. El objetivo de este trabajo fue probar que la aplicación de la cal en banda como fuente de Ca para la planta, en suelos pobres en Ca y sin problemas de toxicidad de Al, sería una práctica recomendable en los sistemas de labranza mínima. La investigación se realizó bajo condiciones controladas en un invernadero con dos suelos: un Typic Paleustalfs, de pH 4,75, con 21% de saturación de Al y 142 mg Ca/kg, llamado Pao, y un Typic Haplustalfs, de pH 5,10, con 7% de saturación de Al y 261 mg Ca/kg, llamado Camoruco. Las formas de aplicación de cal fueron: Sin cal, mezclado con el suelo, aplicación superficial y en banda. Se escogieron dos cultivares de maíz: Sikvani, tolerante a la toxicidad de aluminio, y SQ2, una variedad local. Los tratamientos se arreglaron como un factorial de 4 x 2 en un diseño completamente aleatorizado con cuatro repeticiones. La producción de materia seca y de área foliar con la aplicación de cal en banda fue tan eficiente como la mezclada con el suelo, en los suelos usados de pH de 4,7 o por encima y con un contenido de Al menor a 0,40 cmol/kg. Los resultados muestran que la aplicación de cal en banda, en los suelos ácidos pobres en calcio y sin problemas de toxicidad de aluminio, es una buena alternativa para el manejo de los sistemas de labranza mínima o siembra directa. La información obtenida debe ser validada con experimentos de campo en diferentes tipos de suelo para ser adoptada por los agricultores.

Palabras clave: Área foliar, longitud radical, materia seca, cal en banda.

Liming in band as calcium source for maize (*Zea mays* L.)

ABSTRACT

Lime is usually broadcast on the acidic soils surface and disked to mix with the soil. This practice is not applicable in minimum tillage or direct sowing systems. The aim of this research was to prove that band application of lime as Ca source for maize, in acid soils with no Al toxicity problems. This would be an advisable practice for minimum or non tillage systems. The work was realized in a green house using two soils, a Typic Paleustalf with pH 4.75, Al saturation 21% and Ca 142 mg/kg, called Pao, and a Typic Haplustalf with pH 5.10, Al saturation 7.0% and Ca 261 mg/kg called Camoruco. Liming treatments consisted of no lime, mixed with the soil, surface application, and band application. Two maize varieties were tested, the aluminum tolerant Sikvani and SQ2, a local variety. The design was a complete randomized factorial 4 x 2 with four replications. Banded lime was as efficient as mixed lime with the soil in producing dry matter and leaf area in both soils. These results seem to demonstrate that banded lime in acidic soils with pH over 4.5 and with no aluminum toxicity problem could be a good alternative to use in minimum tillage crop systems. The obtained results must be validated by field experiments in different soil types before adopted by farmers.

Key words: Leaf area, root length, dry matter, banded lime.

*Autor de correspondencia: Ricardo Ramírez

E-mail: abisam28@gmail.com

INTRODUCCIÓN

El propósito del encalado de los suelos ácidos es controlar el efecto tóxico del Al e incrementar el calcio disponible en el suelo. Sin embargo, esta alternativa tiene un efecto temporal o es demasiado costosa para los agricultores de bajos recursos y, finalmente, no siempre es amigable con el medio ambiente (Thé *et al.*, 2001). López (1981, 1982) encontró que una superficie considerable de los suelos ácidos, en Venezuela, tienen bajas concentraciones de Al, pero son deficientes en Ca. Caires *et al.* (1998) señalaron que es posible obtener buenos rendimientos de soya en un suelo ácido con bajo contenido Al siempre que la concentración de Ca, Mg y K sean las adecuadas.

Varios trabajos en el país han aportado información relacionada con el manejo de los suelos ácidos, enfocándose en determinar el efecto de las enmiendas sobre la acidez del suelo y la respuesta de los cultivos al encalado (López, 1981; Pérez, 1986; Rodríguez y Adams, 1997). Actualmente se recomienda aplicar la cal al voleo e incorporarla con rastra antes de la siembra; este sistema de labranza se caracteriza por ser de alta intensidad, lo que ha contribuido a la degradación de los suelos. En el país se ha extendido el uso de la siembra directa, como una alternativa de manejo de los suelos para procurar su conservación, pero este sistema no permite la aplicación de la cal al voleo y su posterior incorporación.

Una alternativa es la aplicación superficial de la cal sin incorporarla al suelo; al respecto varios autores han señalado diferentes respuestas. Moreira *et al.* (2001) y Caires *et al.* (2006, 2008) encontraron que el pH del suelo entre 0 y 20 cm de profundidad fue mayor con la aplicación de la cal en forma superficial que cuando esta fue incorporada al suelo. Este efecto fue atribuido al menor volumen de suelo superficial en contacto con la cal. Petreter y Anghinoni (2001) indicaron que la aplicación incorporada de cal es capaz de producir uniformidad en el pH, Ca y Al en el perfil del suelo; en cambio, la aplicación de la cal sobre la superficie origina la formación de un gradiente de concentración desde la superficie hasta las capas más profundas del suelo. Estos autores señalan que el efecto del encalado superficial sobre el mejoramiento de los problemas asociados a la acidez sub superficial es lento y restringido, debido a que los aniones responsables de la neutralización son consumidos por el Al, Fe y Mn presentes en la parte superficial del suelo. Rheinheimer *et al.* (2000) encontraron, que la aplicación de cal superficial produce después de seis meses un incremento en la concentración de Ca en los primeros 5 cm de profundidad y entre los 16 y 36 meses la migración del

Ca y Mg alcanzó hasta los 15 cm de profundidad. Este comportamiento se explicó porque el desplazamiento de los iones OH⁻ y CO₃⁼ a mayor profundidad ocurre solo cuando el pH de la solución (5,2 - 5,5) neutraliza los cationes de reacción ácida (Al, Mn, Fe).

El efecto de la cal aplicada en la superficie del suelo sobre la distribución del Ca en el subsuelo es atribuido a la migración de las partículas de cal sin reaccionar, a través de los canales dejados por raíces muertas o formados por la biota, además del traslado de productos de reacción por el agua de infiltración, la formación de pares iónicos con nitratos y sulfatos provenientes de fertilizantes y la formación de complejos con compuestos orgánicos hidrosolubles (Oliveira y Pavan, 1996; Rheinheimer *et al.*, 2000; Petreter y Anghinoni, 2001).

El manejo de los suelos ácidos no debe limitarse sólo al mejoramiento de las condiciones edáficas, el uso de cultivares mejorados tolerantes a la toxicidad del Al o a la acidez del suelo es una alternativa válida. Se ha demostrado que los sistemas radicales de los cultivares tolerantes a la acidez son capaces de desarrollarse en suelos ácidos con niveles altos de Al disponible, permitiendo a la planta explorar mayor volumen de suelo para tomar nutrientes y agua (Huang *et al.*, 1993; Gaume *et al.*, 2001; Ramírez, 2006).

Este trabajo tiene como objetivo comparar la eficiencia de la aplicación de la cal mezclada con el suelo con la aplicación en banda en un experimento de corto plazo. Esta comparación incluye los suelos con grados diferentes de acidez y saturación con Al, y dos cultivares de maíz con diferentes grado de tolerancia a la toxicidad de Al.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el trabajo se tomaron muestras superficiales entre 0 y 20 cm de profundidad en dos suelos. El primero correspondió a un Typic Paleustalfs franco arenoso, de pH 4,75 (1:2,5 agua:suelo), con 21% de saturación de Al, 142 mg Ca/kg, 8 mg P/kg, 1,69% de materia orgánica y 1,91 cmol/kg de CIC, el cual está localizado en el Municipio Pao, estado Cojedes, identificado como Pao. El segundo fue un suelo Typic Haplustalfs franco arenoso, de pH 5,10, con 7% de saturación de Al, 261 mg Ca/kg, 11 mg P/kg, 1,27% de materia orgánica y 2,22 cmol/kg de CIC, localizado en el municipio San Carlos, estado Cojedes, identificado como Camoruco. Cada suelo constituyó un experimento independiente, pero conducido al mismo tiempo y en iguales condiciones ambientales.

La dosis de cal aplicada a cada suelo se determinó por medio de la técnica de incubación, la cantidad de

CaCO₃ calculada fue la necesaria para ajustar el pH de los suelos a 6,2. La dosis de CaCO₃, grado reactivo, fue de 0,8 g/kg para el suelo Pao y 0,9 g/kg para el suelo Camoruco. Las formas de aplicación de cal al suelo fueron sin encalado (SC), mezclado con el suelo (M), aplicación superficial (S) y en banda (B). Se escogieron dos cultivares de maíz: Sikuni (Sk), tolerante a la toxicidad de Al, proveniente del Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y Trigo (CIMMYT) y una variedad local SQ2 (SQ), mejorada por el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) en suelos neutros. El arreglo de tratamientos fue un factorial 4 x 2 y un diseño del experimento completamente al azar con cuatro repeticiones.

Los potes usados fueron de plástico de 35 cm de altura y 30 cm de diámetro; en cada pote se colocaron 12 kg de suelo seco al aire y tamizado con malla de 3 mm. La cal del tratamiento M se mezcló con el suelo de cada pote, luego se agregó agua desionizada hasta alcanzar 80% de la capacidad de campo de los suelos de todos los tratamientos, los cuales se mantuvieron en incubación por quince días, reponiendo el agua cuando fue necesario. Los suelos de cada pote, individualmente, se tamizaron y el fertilizante común para todos los tratamientos se aplicó mezclado con el suelo. Las dosis usadas, en mg/kg, fueron 200 de N, 120 de P, 100 de K, 8 de Mg, 4 de Cu y 1,5 de Zn. La cal correspondiente al tratamiento S se aplicó en la superficie del suelo y se removió con un pequeño rastrillo para incorporarla a 1 cm de profundidad para evitar su arrastre con el riego. En el caso del tratamiento en B, la cal se localizó siguiendo el diámetro del pote en una banda de 5 cm de ancho calculando que quedara, después de la siembra, 5 cm a un lado y 5 cm por debajo de la semilla.

La siembra de cuatro semillas por pote se realizó en suelo húmedo cuidando que quedaran depositadas, siguiendo el mismo esquema de siembra usado en el tratamiento B. A los ocho días de la germinación, las plantas se entresacaron dejando dos por pote. Durante el curso del experimento la humedad del suelo se mantuvo entre 30 y 80% de la capacidad de campo, añadiendo agua desionizada cuando fue necesario. Los potes se colocaron en un invernadero enfriado con cortina de agua, manteniendo la temperatura mínima y máxima de 19°C y 35°C, respectivamente.

Las plantas se cosecharon a los 30 días del inicio de la germinación, cortándolas a 1 cm por encima de la superficie del suelo, se lavaron con agua desionizada y se secaron a 70°C (MS) por 24 h, se pesaron y molieron usando un tamiz con malla de 1,5 mm. El tejido vegetal se mineralizó con H₂SO₄ y H₂O₂ en un bloque de digestión de Al (Thomas *et al.*, 1967) y en el residuo se determinó el Ca por absorción atómica.

Para calcular la longitud radical (LR) se tomaron dos muestras de suelo desde la superficie de hasta la base del pote con un cilindro de 2,5 cm de diámetro. Una muestra en el tratamiento B se localizó sobre la banda de cal a 5 cm de la planta, denominada Ba y otra similar fuera de la banda también a 5 cm de la planta denominada Bb. En los tratamientos SC, S y M se siguió el mismo patrón de muestreo que en el descrito para B. Las raíces se separaron del suelo con agua corriente usando tamices de 2, 1 y 0,5 mm y la LR se determinó de acuerdo con el método de la cuadrícula (Tennant, 1975).

Al momento de la cosecha se midió el ancho y largo de las hojas liguladas para calcular el área foliar (AF) de acuerdo con Mckee (1964).

El muestreo del suelo de 0 a 10 cm y 10 a 30 cm de profundidad, para evaluar la concentración de Ca y el pH en el tratamiento B, se realizó sobre la banda de cal (Ba) y a la misma distancia de la planta en posición opuesta a la banda, se tomó otra muestra (Bb). En el caso de los tratamientos SC, S y M, las muestras se tomaron en posiciones semejantes a las de B.

Los resultados se sometieron al análisis de varianza y la comparación de medias ($P < 0,05$) se hizo siguiendo el criterio Tukey usando el paquete estadístico Statistix (Analytical Software, 2008)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis de varianza de los diferentes datos no mostraron variación significativa atribuible a los efectos principales, pero si a las interacciones ($P < 0,05$). No se encontraron efectos significativos para los factores principales e interacciones para la LR.

Producción de materia seca (MS)

La respuesta de la MS de los cultivares de maíz a las formas de encalado varió con los suelos. En el suelo Pao, la formación de MS por el cultivar SQ (Cuadro 1) donde la cal se mezcló con el suelo, fue significativamente mayor a la MS del tratamiento sin cal, sin ($P < 0,05$) diferencias entre las formas de aplicación de cal. La variedad Sk mostró una capacidad de producción de MS en el suelo sin encalar, tan buena como en los tratamientos encalados. Este buen comportamiento de Sk podría ser atribuido a su carácter genético de tolerancia a la toxicidad de Al, lo que hace que tenga buena respuesta en suelos ácidos.

En el suelo Camoruco, la MS producida por la variedad Sk, donde la cal se mezcló con el suelo, fue considerablemente más baja ($P < 0,05$) que la encontrada

Cuadro 1. Materia seca (g/planta) de dos cultivares de maíz, (Sikuani y SQ) a los 30 días de edad, bajo diferentes formas de colocación de cal en dos suelos.

Encalado	Suelo Pao		Suelo Camoruco	
	Sikuani	SQ	Sikuani	SQ
Sin cal	5,40	4,11b†	7,26a	6,11
Superficial	4,96	5,41ab	5,20ab	6,18
Mezclado	4,84	6,05a	4,60b	4,88
Banda	5,41	5,20ab	6,60ab	5,70

† Valores en la misma columna seguidos por letras diferentes indica diferencia significativa ($P < 0,05$).

sin cal, aparentemente una alta disponibilidad de Ca bien distribuida en el suelo no favoreció la formación de MS de esta variedad. Este comportamiento de Sk podría atribuirse a su capacidad de tolerar muy bien los suelos ácidos ricos en Al y pobres en Ca. En el caso de SQ no se encontraron diferencias en los valores de MS entre los tratamientos de encalado y no encalado.

Comportamiento del área foliar (AF)

El comportamiento del AF de las dos variedades fue diferente. En el suelo Pao (Cuadro 2) el efecto del encalado en SQ, independientemente de la forma, incrementó la expansión foliar, en 174 cm² respecto al tratamiento sin cal ($P < 0,05$).

En el suelo Camoruco la variedad SQ no mostró diferencias en AF debido al uso del encalado, en cambio Sk respondió a la aplicación de cal; el valor más bajo de AF de 549 cm² correspondió al tratamiento de mezclado, ($P < 0,05$) significativamente menor que el AF de 713 cm² de la aplicación en banda. El AF de Sk donde no se aplicó cal fue alta, 630 cm², este valor no se diferenció significativamente de los correspondientes a los tratamientos que recibieron cal.

La producción de MS se mostró estrechamente asociada con la expansión de la lámina foliar, en ambas variedades y en los dos suelos. Los coeficientes de correlación correspondientes al suelo Pao fueron de 0,65 para Sk y 0,57 para SQ, ambos significativos ($P < 0,05$). En el caso del suelo Camoruco los coeficientes fueron más altos, 0,74 para Sk y 0,75 para SQ, ($P < 0,01$). Colomb *et al.* (2000) señalaron que existe una estrecha relación entre la formación de la MS y el desarrollo del AF.

Concentración de Ca en el tejido vegetal

La concentración de Ca en el tejido vegetal varió entre 0,16 y 0,26% en el suelo Pao y entre 0,23 y 0,26% en el suelo Camoruco (Cuadro 3). Estos valores están por debajo de 0,30%, considerado como el valor

Cuadro 2. Área foliar (cm²) de dos cultivares de maíz (Sikuani y SQ), a los 30 días de edad bajo diferentes formas de aplicación de cal en dos suelos.

Encalado	Suelo Pao		Suelo Camoruco	
	Sikuani	SQ	Sikuani	SQ
Sin cal	569	451b†	630ab	678
Superficial	489	639a	566ab	622
Mezclado	581	637a	549b	566
Banda	663	598a	713a	702

† Valores en la misma columna seguidos por letras diferentes indica diferencia significativa ($P < 0,05$).

mínimo adecuado para el maíz de 30 días de edad (Jones *et al.*, 1991), aún cuando el nivel de encalado fue adecuado para elevar el contenido de Ca disponible en el suelo a niveles de suficiencia.

La mayor concentración de Ca en el tejido vegetal en el suelo Pao correspondió a la aplicación mezclada con el suelo, 0,26% en Sk y 0,25% en SQ. Estos valores están muy cercanos al nivel de suficiencia y fueron significativamente mayores ($P < 0,05$) que los encontrados con las otras formas de aplicación de cal y sin cal. En el suelo Camoruco el comportamiento de las variedades fue parecido (Cuadro 3). No se encontraron diferencias en la concentración de Ca en el tejido vegetal por efecto de las formas de encalado. Una posible explicación a este comportamiento sería la mayor disponibilidad de Ca natural y el nivel bajo de Al en este suelo.

Longitud radical (LR)

El análisis de varianza de los datos de LR no mostraron diferencias significativas para las variables estudiadas, por lo cual los datos se comparan entre si usando el criterio de porcentaje. La LR total, sumatoria de la LR para Ba y Bb en el suelo Pao (Cuadro 4) para S y M en Sk fue equivalente al 64,9% de la LR encontrada en el tratamiento SC, pero la LR total en B fue parecida a la de SC. Esta respuesta de Sk podría

Cuadro 3. Concentración de Ca (%) en el tejido de dos cultivares de maíz (Sikuani y SQ) a los 30 días de edad bajo diferentes formas de aplicación de cal en dos suelos.

Encalado	Suelo Pao		Suelo Camoruco	
	Sikuani	SQ	Sikuani	SQ
Sin cal	0,17b†	0,16c	0,24	0,23
Superficial	0,19b	0,21b	0,25	0,23
Mezclado	0,26a	0,25a	0,23	0,26
Banda	0,19b	0,17c	0,24	0,23

† Valores en la misma columna seguidos por letras diferentes indica diferencia significativa ($P < 0,05$).

Cuadro 4. Longitud radical (cm) de dos cultivares de maíz (Sikuani y SQ) en los suelos Pao y Camoruco bajo la influencia de la colocación de cal en el suelo.

Suelo	Encalado	Sikuani			SQ		
		Ba†	Bb	Total	Ba	Bb	Total
Pao	Sin cal	96	105	201	51	60	111
	Superficial	64	73	137	66	73	145
	Mezclado	65	56	124	99	112	211
	Banda	110	116	226	128	72	200
Camoruco	Sin cal	134	163	297	85	104	189
	Superficial	104	85	189	132	149	281
	Mezclado	94	106	200	100	113	213
	Banda	58	133	191	28	104	130

† Ba=Sobre la banda, Bb=Fuera de la banda.

atribuirse a la capacidad de la variedad de adaptarse a las condiciones de los suelos ácidos pobres en Ca y P disponibles (Gaume *et al.*, 2001; Ramírez, 2006). La LR total de la variedad SQ en el suelo Pao en el tratamiento de SC fue de 111 cm, el cual corresponde al 59,9% de la LR promedio de los tratamientos encalados, dando la impresión aparente de la existencia de un beneficio debido al encalado.

En el suelo Camoruco el promedio de la LR total de los tratamientos que recibieron encalado para Sk (Cuadro 4) correspondió al 65% de la LR encontrada en SC; este crecimiento radical de Sk sugiere que el nivel natural de Ca en el suelo fue suficiente para satisfacer la demanda del cultivar para la expansión radical. Un incremento en el Ca disponible no benefició la LR. En este suelo la LR de SQ donde la cal se aplicó en banda mostró el valor más bajo (130 cm), y corresponde solo al 52,6% de la LR promedio de los tratamientos S y M. Esta información pareciera indicar que la variedad Sk tiene buena capacidad para desarrollar LR en condiciones de suelo ácido, mientras que SQ parece requerir de encalado en los suelos donde se trabajó.

Ca residual en el suelo

No se encontraron diferencias significativas en los niveles de Ca entre las dos profundidades de muestreo en SC y M en ambos suelos (Cuadro 5). Donde el encalado se aplicó en forma superficial la acumulación de Ca en los primeros 10 cm de suelo fue significativamente mayor que en los siguientes 20 cm, en ambos suelos, dando lugar a una clara estratificación, posiblemente debido al lento movimiento del Ca en el suelo durante el experimento.

El Ca residual en Ba en el suelo superficial fue muy alto, 2077 y 2093 mg/kg en el suelo Pao y 2490 y 2475 mg/kg en el suelo Camoruco (Cuadro 5). Estos niveles de Ca se redujeron significativamente con la profundidad a 336 y 385 mg/kg en el suelo Pao y a

560 y 497 mg/kg en el suelo Camoruco. Los contenidos de Ca en el sub horizonte de 10 a 30 cm de Ba en el suelo Pao fueron 2,78 y 3,67 veces más altos que los respectivos niveles de Ca en el tratamiento testigo y 1,67 y 1,13 veces más en el caso del suelo Camoruco. Este comportamiento evidencia la influencia de la banda de cal sobre el contenido de Ca por debajo de ella, lo cual significa que hubo un movimiento vertical del Ca.

En el punto de muestreo Bb los valores de Ca encontrados son similares a los correspondientes del tratamiento SC, lo que parece indicar que el movimiento del Ca en sentido horizontal fue muy bajo.

Comportamiento del pH

Como era previsible, el pH de los suelos se incrementó con la aplicación de cal y siguió un patrón similar al del Ca residual en el suelo. No se encontraron cambios en la acidez del suelo por efecto de ninguno de los materiales genéticos. Donde se aplicó la cal sobre la superficie del suelo, el pH fue significativamente más alto en el estrato superficial en ambos suelos (Cuadro 6), siguiendo la distribución estratificada del Ca (Cuadro 5). En el caso del tratamiento M, en los dos suelos, los valores de pH fueron muy parecidos para los dos cultivares y variaron poco, entre 5,80 y 5,88 en el suelo Pao y entre 5,58 y 5,98 en el suelo Camoruco. Estos valores de pH evidencian que el proceso de aplicación de la cal mezclada fue eficiente. En el caso de la aplicación Ba el comportamiento del pH también mostró estar influenciado por la distribución del Ca en el suelo; los valores de pH encontrados entre 0 y 10 cm de profundidad fueron significativamente mayores ($P < 0,05$) a los correspondientes de la profundidad de 10 a 30 cm. La variedad Sikuani es un material genético tolerante a la toxicidad de Al, que se caracteriza por su capacidad de crecer normalmente en suelos ácidos con bajo contenido de P y Ca, siendo el mejor desarrollo radical, uno de los mecanismos usados por este tipo de

Cuadro 5. Calcio residual (mg/kg) en los suelos Pao y Camoruco bajo la influencia de la forma de aplicación de cal en el suelo.

Suelo	Cultivar	Profundidad	SC†	S	M	Ba	Bb
Pao	Sikuani	0-10	127	511a‡	619	2077a	181
		10-30	121	214b	664	336b	131
	SQ	0-10	123	931a	628	2093a	165
		10-30	105	144b	727	385b	162
Camoruco	Sikuani	0-10	319	845a	695	2490a	370
		10-30	335	582b	888	560b	403
	SQ	0-10	371	877a	657	2475a	319
		10-30	439	361b	938	497b	396

† SC=Sin cal, S=Superficial, M=Mezclado, Ba=Sobre la banda, Bb=Fuera de la banda.

‡ Valores seguidos por letras diferentes en la misma columna indica diferencia significativa ($P<0,05$).

plantas para adaptarse a las condiciones adversas de los suelos ácidos (Marschner, 1991).

La alta producción de MS de Sk en el suelo Pao, más ácido, en el tratamiento SC y, acompañado, por la falta de respuesta de la MS a la aplicación de cal al suelo, podría explicarse por la capacidad de la variedad de desplegar raíces más largas en este tipo de suelos en presencia de Al, lo que le permite una mejor nutrición para formar más MS (Ramírez, 2006). El comportamiento del cultivar SQ en Pao fue diferente al de Sk. La baja producción de MS en SC y la respuesta a la aplicación de cal mezclada con el suelo podría atribuirse al menor desarrollo radical en SC, en relación con los tratamientos de encalado. Es conocido que las variaciones en LR tienen una alta influencia en la absorción de P de distintas especies (Gahoonia *et al.*, 1997; Gahoonia y Nielsen, 1997; Foshe *et al.*, 1991).

En el suelo Pao, la concentración de Ca en el tejido vegetal de SQ fue 0,16% donde no se aplicó cal y 0,17% en el tratamiento de B, pero también en Sk la concentración de Ca en SC fue de 0,17%. Estos valores

son muy bajos, de acuerdo con lo señalado por Jones *et al.* (1991). En el caso de SQ la deficiencia de Ca se manifestó visiblemente en forma de hojas retorcidas y con los bordes irregulares, pero en Sk la deficiencia no se manifestó en forma visual.

CONCLUSIONES

Los datos de MS y AF demuestran que la aplicación de cal en banda puede ser tan eficiente como la mezclada con el suelo, cuando el pH sea 4,7 o mayor y con un contenido de Al menor a 0,40 cmol/kg. La respuesta de la planta a la aplicación de cal en banda indica que en los suelos ácidos pobres en Ca, pero sin problemas de toxicidad de Al, la alternativa de aplicar cal en banda como fuente de Ca, podría ser buena para el manejo de los sistemas de labranza mínima o siembra directa. La información obtenida debe ser validada con experimentos de campo en diferentes tipos de suelo para ser adoptada por los agricultores.

AGRADECIMIENTO

Cuadro 6. Valores de pH en los suelos Pao y Camoruco bajo la influencia de la colocación de cal y dos cultivares de maíz.

Suelo	Cultivares	Profundidad, cm	SC†	S	M	Ba	Bb
Pao	Sikuani	0-10	4,76	6,61a‡	5,87	7,22a	4,80a
		10-30	4,81	5,39b	5,80	5,25b	4,79a
	SQ	0-10	4,81	6,22a	5,88	7,17a	4,79a
		10-30	4,91	4,91b	5,88	5,16b	4,68a
Camoruco	Sikuani	0-10	5,00	5,65a	5,58	7,41a	5,68a
		10-30	5,07	5,10b	5,86	5,25b	5,04a
	SQ	0-10	5,06	6,74a	5,59	7,31a	5,46a
		10-30	4,93	5,25b	5,98	5,77b	5,16a

† SC=Sin cal, S=Superficial, M=Mezclado, Ba=Sobre la banda, Bb=Fuera de la banda.

‡ Valores seguidos por letras diferentes indica diferencias significativas ($P<0,05$).

La presente investigación fue desarrollada con la subvención otorgada por el Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela (CDCH-UCV), a través del Proyecto titulado: Nutrición temprana de fósforo y Ca del maíz y su efecto sobre el desarrollo de la planta hasta el estadio V6.

REFERENCIAS

- Analytical Software. 2008. Statistix for Windows, Ver. 8. Analytical Software, Tallahassee, EUA.
- Caires, E. F.; W. A. Chueiri; E. F. Madruga; A. Figueredo. 1998. Alterações de características do solo e reposta de soja a calcáreo e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivos sem prepara do solo. *Rev. Bras. Cien. Solo*. 22:27-34.
- Caires, E. F.; J. C. L. Correa; S. Churka; G. Baarth; F. Garbuio. 2006. Surface application of lime ameliorate sub soil acidity and improves root growth and yield of wheat in an acid soil under non till system. *Sci. Agrí*. 63: 502-509.
- Caires, E.F.; F.J. Garbuio; S. Chirga; G. Berth; J.C.L. Correa. 2008. Effect of soil acidity amelioration by surface liming on non-till corn, soybean and wheat root growth and yield. *Eur. J. Agron*. 28: 57-64.
- Colomb, B.; J.R. Kiniri; P. Debaeke. 2000. Effect of soil phosphorus on leaf development and senescence dynamics of field-grown maize. *Agron. J*. 92: 428-435.
- Foshe, D.; N. Classen; A. Junk. 1991. Phosphorus efficiency of plants. II. Significance of root radius, root hairs and cation-anion balance of phosphorus influx in seven plant species. *Plant Soil*. 132: 261-272.
- Gahoonia, T.S; N.E. Nielsen. 1997. Variations in root hairs of barley cultivars double phosphorus uptake. *Euphytica*. 98: 177-188.
- Gahoonia, T.S.; D. Care; N.E. Nielsen. 1997. Root hairs and phosphorus acquisition of wheat and barley cultivars. *Plant Soil*. 191: 181-188.
- Gaume, A.; F. Machler; E. Frossard. 2001. Aluminum resistance in two cultivars of *Zea mays* L.: Root exudation of organic acids and influence of phosphorus nutrition. *Plant Soil*. 234: 73-81.
- Huang, J.W.; D.L. Grunes; L.V. Kochian. 1993. Aluminum effect on calcium uptake and translocation in wheat forages. *Agron. J*. 85: 867-773.
- Jones, Jr. B.B.; B. Wolf; H.A. Mills. 1991. *Plant Analysis Handbook*. Micro-Macro Publishing. Athens, EUA.
- López de R., I. 1981. Respuesta al encalado en suelos Oxisoles y Ultisoles de Venezuela. *Agronomía Trop*. 31: 37-57.
- López de R., I. 1982. Requerimientos de cal en suelos de Venezuela I. Correlación entre métodos químicos de incubación. *Agronomía Trop*. 32: 125-145.
- Mckee, O. W. 1964. A coefficient for computing leaf area in hybrid corn. *Agron. J*. 56:240-241
- Marschner, H. 1991. Mechanisms of adaptation of plants to acid soils. *Plant Soil*. 134: 1-20.
- Moreira, S.G.; J.C. Kiehl; L.I. Prochonow; V. Paulette. 2001. Calagem em sistema de semeadura direta e efeitos sobre a acidez do solo, disponibilidade de nutrientes e produtividade de milho e soja. *Rev. Bras. Cien. Solo*. 25: 71-81
- Nielsen, N.E; S.A. Barber. 1978. Differences among genotypes of corn in the kinetics of P uptake. *Agron. J*. 70: 695-698.
- Oliveira, E.L.; M.A. Cole. 1996. Control of soil acidity in no-tillage system for soybeans production. *Soil Till. Res*. 38: 47-57
- Pérez, R. 1986. Efectos del encalado en la neutralización del Al intercambiable y sobre el crecimiento del tomate (*Lycopersicon esculentum*). *Agronomia Trop*. 36: 88-110.
- Petrere, C.; I. Anghinoni. 2001. Alteração de atributos químicos no perfil do solo pela calagem superficial em campo nativo. *Rev. Bras. Cien. Solo*. 25: 885-8895
- Rheinheimer, D.S.; E.J.S. Santos; J. Kaminski; E.C. Bortoluzzi; L.C. Gabitiboni. 2000. Alteracoes de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagen natural. *Rev. Bras. Cien. Solo*. 24: 797-805.
- Ramírez, R. 2006. Eficiencia del uso del fósforo de la roca fosfórica por cultivares de maíz. *Interciencia*. 31: 45-49
- Rodríguez, T.; M. Adams. 1997. Efecto del encalado y del fósforo sobre las fracciones del zinc en suelos Ultisoles y Oxisoles de los Llanos de Monagas. *Agronomía Trop*. 47: 43-60.
- Tennant, D. 1975. A test of a modified line intersect. Method of estimating root length. *J. Ecol*. 63: 995-1001.

- Thé, C.; H. Calba; W.J. Horst; C. Zonkeng. 2001. Three years performance of a tolerant and a susceptible maize cultivar on non-amended and amended acid soil. *En* W.J. Horst et al. (Eds.) Plant Nutrition-Food Security and Sustainability of Agro-Ecosystems Through Basic and Applied Research. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands. pp 984–985
- Thomas, R.L.; R.W. Sheard; J.R. Mayer. 1967. Comparison of conventional and automated procedures for nitrogen, phosphorus and potassium analysis of plant material using a single digestion. *Agron. J.* 59: 240-243.