

Efecto del yeso sobre las características químicas de un Oxisol de la Orinoquia colombiana cultivado con lima ácida Tahití

Effect of gypsum on the chemical characteristics of an Oxisol from the Colombian Orinoquia cultivated with Tahiti acid lime

José Eurípides Baquero Peñuela¹, Marlon Yacomelo² y Javier Orlando Orduz-Rodríguez^{3*}

Recibido para publicación: Abril 17 de 2017 - Aceptado para publicación: Mayo 24 de 2018

RESUMEN

La lima ácida Tahití [*Citrus latifolia* (Yu Tanaka) Tanaka] es una de las especies de cítricos con potencial de producción para consumo interno y exportación en los llanos Orientales de Colombia. Con el propósito de evaluar los efectos del uso de yeso agrícola sobre las propiedades químicas, absorción de nutrientes y producción de frutos de lima Tahití, se realizó un experimento en un suelo Oxisol de terraza alta del Piedemonte Llanero. Los tratamientos consistieron de cinco niveles de yeso (0,5 - 1,0 - 1,5 - 2,0 y 2,5 t ha⁻¹). Se utilizó un diseño de BCA con 4 repeticiones. La producción de fruto fue evaluada durante cinco años consecutivos y al sexto año se realizó el análisis químico del suelo y análisis foliar. Se encontró un efecto positivo sobre el aumento en el contenido y la distribución de Ca, Mg, y S en el perfil del suelo, disminución de la acidez intercambiable y aumento del pH con las aplicaciones crecientes de yeso agrícola. Las aplicaciones de yeso aumentaron la absorción de Ca y S y redujeron los niveles foliares de N, K, Mg y Zn, sin alterar la productividad del cultivo. La mayor producción acumulada de frutos (141,41 t ha⁻¹) fue obtenida con la aplicación de 2,5 t ha⁻¹ de yeso. Se demostró los efectos positivos del yeso agrícola en la distribución de bases en el suelo, en la reducción de la acidez y el incremento de pH en profundidad, mejorando la productividad de lima Tahití.

Palabras clave: Cítricos, correctivos, nutrición mineral, Orinoquia Colombiana.

ABSTRACT

The Tahiti acid lime [*Citrus latifolia* (Yu Tanaka) Tanaka] is one of the citrus species with production potential for domestic consumption and export in the Eastern plains of Colombia. With purpose to evaluate the effects of the use of agricultural gypsum on the chemical properties, absorption of nutrients and production of fruits of Tahiti lime, was carried an experiment in an Oxisol soil of high terrace of the Llanero Foothills. The treatments consisted of five levels of gypsum (0.5 - 1.0 - 1.5 - 2.0 and 2.5 t ha⁻¹). Was used a design random complete block with four repetitions. The fruit production was evaluated during five consecutive years and in the sixth year; the soil chemical analysis and foliar analysis were carried. A positive effect was found on the increase in the content and distribution of Ca, Mg, and S in the soil profile, decrease in interchangeable acidity and increase in pH with the increasing applications of agricultural gypsum. The gypsum applications increased the absorption of Ca and S and reduced the foliar levels of N, K, Mg and Zn, unchanged the productivity of the crop. The highest accumulated fruit production (141.41 t ha⁻¹) was obtained with the application of 2.5 t ha⁻¹ of gypsum. The positive effects of the agricultural gypsum in the distribution of bases in the soil, in the reduction of the acidity and the increase of the pH in depth were demonstrated, improving the productivity of Tahiti lime.

Key words: Citrus, corrective, mineral nutrition, Colombian Orinoquia.

1. Ph.D. Asociado Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

2. M.Sc. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

3. Ph.D. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. C.I. La Libertad, Villavicencio.

INTRODUCCIÓN

La lima ácida Tahití es una de las especies cítricas con mayor potencial de exportación en condiciones tropicales. En Colombia ha venido aumentando su participación en ese mercado, llegando a ser uno de los países con mayores exportaciones en el año 2017. Es cultivada principalmente en los departamentos de Antioquia, Atlántico, Caldas, Casanare, Cauca, Risaralda, Santander, Tolima y Valle del Cauca, que en conjunto suman un área aproximada de 10,489 hectáreas (ENA-DANE, 2016.). De acuerdo con Orduz y Baquero (2003), los suelos más adecuados para este cultivo en la Orinoquia Colombiana son los Oxisoles e Inceptisoles localizados en las terrazas altas del piedemontellanero los cuales se caracterizan por presentar un complejo coloidal inorgánico con arcillas caoliniticas de baja actividad, avanzado estado de desgaste de los materiales, baja fertilidad (Mejía 1979) y alta acidez, generada principalmente por la presencia de aluminio soluble (Al^{3+}), lo cual genera disminución en la solubilidad del molibdeno y del fósforo, (Mejía 1996; Rivera *et al.*, 2016) y el descenso de la concentración de macronutrientes y bases intercambiables (Ca, Mg, K) en la solución del suelo (Rout *et al.*, 2001; Cristancho *et al.*, 2010). Así mismo, la presencia en el suelo de Al^{3+} en altas cantidades, genera una alteración del metabolismo de las plantas, especialmente en la inhibición del crecimiento de las raíces (Rivera *et al.*, 2016) afectando notablemente la producción de la mayoría de plantas susceptibles a la acidez (Zapata, 2004). En esta región se tiene un área establecida de 500 hectáreas, las cuales son intervenidas constantemente para neutralizar la acidez. Entre las estrategias para mejorar la producción agrícola en suelos con problemas de toxicidad por Al^{3+} se encuentran la adición de materiales correctivos (enclantes u orgánicos) al suelo combinado con el empleo de cultivares tolerantes (Garrison, 2008; Rivera *et al.*, 2016) Los productos más utilizados en la actualidad

para corregir la acidez del suelo son la caliza ($CaCO_3$) y la dolomita ($CaCO_3/MgCO_3$) (Vásquez, 2012). Sin embargo, la escasa solubilidad de estos materiales, en particular cuando no son incorporados al suelo, comprometen la eficiencia de utilización en el mediano a corto plazo. Para solucionar este inconveniente se ha propuesto la combinación de las enmiendas citadas con el yeso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) que incrementa la solubilidad del calcio de dichas fuentes, las cuales causan un progresivo descenso en los valores de pH y mejoran la distribución de las bases en el perfil de suelos ácidos (Gambaudo *et al.*, 2001, Sainz *et al.*, 2011, Carrizo, 2011 y Cruzate, 2012). Adicionalmente, su reacción con Al^{3+} puede reducir la acidez por la formación de especies menos tóxicas, lo cual mejora el crecimiento y el desarrollo del sistema radicular a mayores profundidades y mejora la absorción de nutrientes y agua por las plantas (Souza *et al.*, 2001).

En un Oxisol plantado con limón Siliciano (*Citrus limón* Buró) Prochnow y Boareto (1995) observaron un aumento de 22,2 mg dm^{-3} a 68,8 mg dm^{-3} del ion sulfato en las capas de 0,40 a 0,80 m de profundidad en el suelo 24 meses después de la aplicación de 4,0 t ha^{-1} de yeso agrícola; igualmente esta dosis de yeso permitió una mayor absorción foliar de azufre (S) por la planta. Resultados semejantes fueron obtenidos por Paro (1991), Lima (1995) en naranja Hamlin y Luz (1995) y en huertos de cítricos en producción. Los efectos positivos del yeso en los frutos cítricos son reportados por Malavolta y Violante (1989), y Boaretto *et al.* (1996). Este trabajo tuvo como objetivo evaluar los efectos de la utilización de yeso sobre las propiedades químicas de un Oxisol, la nutrición y la producción de lima ácida Tahití cultivada en la región de la Orinoquia Colombiana.

MATERIALES Y METODOS

El experimento se realizó en un suelo Caolínico

Isohipertérmico Typic Hapludox (IGAC, 2000), de terraza alta del piedemonte llanero, a 4° 03' 20" de latitud Norte y 73° 28' 40" de longitud Oeste, con altitud de 334 msnm, precipitación media anual de 2900 mm, temperatura media anual de 27 °C y humedad relativa entre 80 y 95%. La distribución de la precipitación es monomodal, con un periodo de lluvias que inicia en el mes de marzo y termina en noviembre, y un período seco entre noviembre y marzo. Los resultados químicos de las muestras de suelo de 0,0 - 0,20 m realizadas antes del establecimiento del experimento de acuerdo con ICA (1993), mostraron los siguientes resultados: pH 4,1 en CaCl₂ a 0,01 mol L⁻¹; H + Al 2,3 cmol_c kg⁻¹; Al³⁺ 1,8 cmol_c kg⁻¹; Ca 0,45 cmol_c kg⁻¹; Mg 0,25 cmol_c kg⁻¹; K 0,10 cmol_c kg⁻¹; P 15 mg kg⁻¹ (Bray II); Fe³⁺ 75 mg kg⁻¹. El suelo fue clasificado como Franco Arenoso (<30% de arcillas), con densidad aparente de 1,3 kg dm⁻³ entre 0,0 – 0,10 m y 1,45 kg dm⁻³ entre 0,10 – 0,40 m de profundidad.

En 1998 se estableció un huerto de lima ácida Tahití injertada sobre mandarina Cleopatra (*Citrus reshi* Hort.), con una densidad de 444 árboles/ha distribuidos en un arreglo de tres bolillos. Para corregir acidez se usaron 3,0 t ha⁻¹ de cal dolomita con 75% de PRNT y 1,0 t ha⁻¹ de Escorias Thomas, incorporados en los primeros 0,20 m del suelo. La fertilización se realizó de acuerdo a lo recomendado por Baquero y Orduz (2003). Dos años después de haber establecido la lima Tahití, fueron aplicadas en cantidades únicas cinco dosis de yeso agrícola (0,5; 1,0; 1,5; 2,0 y 2,5 t ha⁻¹) en la superficie del suelo manteniendo un testigo sin yeso. Se utilizó yeso de origen industrial que presenta 95% de pureza con contenidos de 30,6% de CaO y 17,5% de S. El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar con seis tratamientos y cuatro repeticiones. Cada unidad experimental estaba constituida por cuatro plantas. Se evaluó la producción acumulada de frutos de cinco cosechas y en el quinto año (2005) se tomaron

muestras del suelo a cinco profundidades 0,0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,40 y 0,40-0,60 m, cada una estaba compuesta de muestras de los cuatro puntos cardinales en el área de proyección de la copa de los árboles (Orduz y Baquero, 2003). Al tercer mes del inicio del periodo de lluvias del mismo año, se recogieron 200 hojas por parcela, las muestras correspondían a la tercera y cuarta hoja de una rama fructífera de la parte media de la planta. Los análisis de suelo y de tejido vegetal se realizaron como se describe en ICA (1993) y la determinación de S-SO₄²⁻ en el suelo se hizo de acuerdo a Vitti y Susuky (1978). Los datos fueron sometidos a análisis de varianza y de regresión. Se adoptó como criterio para escoger el modelo, la magnitud de los coeficientes de determinación con significancia al 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de 5 años de la aplicación de dosis crecientes de yeso, hubo un efecto altamente significativo ($p < 0,01$) en el aumento del pH del suelo, los contenidos de Ca intercambiable en profundidad y disminución de los niveles de acidez potencial (H + Al) de forma lineal en todas las capas del suelo hasta 0,60 m de profundidad, siendo este efecto más intenso en los primeros 0,20 m del suelo (Tabla 1). Lo anterior permitió, probablemente, una mayor penetración de las raíces en profundidad para disponer de una mayor cantidad de agua y nutrientes lixiviados, además, la toxicidad de aluminio en el suelo ha sido eliminada por neutralización cuando se remueve de la solución del suelo el Al³⁺, como Al(OH)₃. Lo anterior ha sido verificado por Zapata; 2010, Raij (1994); Quaggio *et al.* (1993) y Caires *et al.* (2004). Este efecto se ha atribuido además a una reacción de intercambio que ocurre en la superficie de las partículas del suelo, con la participación de óxidos hidratados de hierro y aluminio, y aniones SO₄²⁻ que promueve la neutralización parcial de acidez (Reeve y Summer, 1972).

El aumento en los niveles de Ca intercambiable fue más evidente en el perfil de la capa superficial, donde los mayores niveles de Ca fueron obtenidos con la aplicación de 2,5 t ha⁻¹ de yeso, coincidiendo con trabajos similares realizados en diferentes cultivos (Toma *et al.*, 1999; Caires *et al.*, 2003; Caires *et al.*, 2004). La aplicación de yeso provocó además, un movimiento de Mg²⁺ intercambiable desde la superficie del suelo (0–0,10 m) hasta el subsuelo (> 0,10 m hasta los 0,40 m). En las capas 0,0 a 0,05 y 0,05 a 0,10 m ocurrieron disminuciones en los niveles de Mg²⁺ que indican posibles lixiviaciones, contrario, a la profundidad de 0,10 a 0,40 m donde las concentraciones de Mg²⁺ aumentaron respecto a los valores iniciales.

Lo anterior, ocurre porque el Ca²⁺ aplicado al suelo reemplaza al Mg²⁺ de los sitios de intercambio, debido a que el Mg²⁺ por tener un radio iónico menor, tiene mayor número de moléculas de agua a su alrededor, que ejercen un efecto pantalla entre las cargas del coloide y las cargas del ion, que hacen que el Mg²⁺ se retenga con menos fuerzas y sea reemplazado por Ca²⁺. Según Estrada (2001), en los Oxisoles, una de las causas del desplazamiento de Mg intercambiable y posterior lixiviación, es las altas cantidades de Ca añadido al suelo. Lo anterior también ha sido reportado por Caires *et al.* (2004). Por otra parte, no se observó efectos de la aplicación de yeso sobre el contenido de K intercambiable en el suelo para las dosis utilizadas en este estudio (Tabla 1).

El movimiento de las bases intercambiables en el suelo puede ser explicada por la alta solubilidad del ion sulfato que forma pares iónicos con Ca, Mg y K, los cuales son transportados fácilmente por el agua de infiltración a las capas más profundas (Estrada, 2001; Caires *et al.*, 2004), siendo más fácil lixiviado los cationes de menor valencia y menor radio iónico, en ese sentido K>Mg>Ca. La aplicación de yeso, tuvo además un efecto altamente significativo ($p < 0,01$) en el aumento

de las concentraciones de P en los primeros 20 cm de profundidad, aumentando su disponibilidad para las plantas. Esta condición se da porque al aplicar yeso al suelo se forman sulfatos de aluminio que son precipitados, favoreciendo la disponibilidad de fósforo en el suelo. De acuerdo a Caíres *et al.* (2003) Caires *et al.* (2004) y Bernal *et al.* (2002) Bernal *et al.* (2006); sobre este aspecto, se debería considerar que el fósforo contenido en el yeso (0,39 mg kg) como impureza puede realizar un papel importante en la nutrición de las plantas, especialmente cuando se añaden en altas cantidades al suelo (Summer *et al.*, 1986).

Por otra parte, la aplicación de yeso a los suelos no cambia su pH en un rango mayor de 0,3 unidades, aunque se consigue una disminución drástica de la toxicidad con Al. El mecanismo por el cual disminuye la toxicidad del Al, se debe a que es precipitado como tres posibles compuestos: jurbanita, basaluminita y alunita (Zapata, 2010). Finalmente, las aplicaciones de yeso tuvo un efecto altamente significativo ($p < 0,01$) en la disminución de los niveles de $S-SO_4^{2-}$ en los primeros 0,05 m de profundidad, sin embargo, en las capas de 0,05 a 0,60 m se presentó un efecto contrario encontrándose altas concentración de $S-SO_4^{2-}$ (Figura 1).

El movimiento de sulfato en el suelo fue proporcional a las dosis de yeso aplicadas, debido, probablemente que la mayoría de sitios donde se podría adsorber el sulfato estaban ocupados por fosfatos. El ion sulfato se retiene con mayor intensidad en los suelos ácidos y con carga eléctrica negativa más baja (Raij *et al.*, 1994), esta condición de suelo asociada con la repulsión del sulfato por fosfato explican los niveles más bajos de $S-SO_4^{2-}$ en las capas de 0 a 0,05 m (Caíres *et al.*, 2004). Además, una mayor percolación de iones sulfato en el perfil del suelo puede ocurrir debido a las altas precipitaciones típicas de Oxisoles presentes en las llanuras de la Orinoquia colombiana (Estrada, 2001).

Tabla 1. Valores medios de los resultados de análisis químicos de suelo a diferentes profundidades 5 años después de la aplicación de dosis de yeso en el cultivo de lima Tahití en un Oxisol de la Orinoquia Colombiana.

Profundidad m	Yeso t ha ⁻¹	pH	H+Al	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	P BrayII
		CaCl2	cmol _c kg ⁻¹				
0-0,05	0	4,1	2,08	1,08	0,87	0,42	135
	0,5	4,3	1,30	1,93	0,64	0,42	151
	1,0	4,5	1,01	2,07	0,60	0,43	155
	1,5	4,7	0,70	2,30	0,57	0,45	160
	2,0	5,4	0,60	2,48	0,58	0,46	166
	2,5	5,5	0,30	2,79	0,47	0,44	175
	Efecto	L*	L**	L**	L**	Ns	L**
	C.V. (%)	13,04	4,76	2,25	2,50	8,15	11,2
0,05-0,10	0	4,10	2,74	0,44	0,35	0,23	41
	0,5	4,15	2,30	0,66	0,32	0,28	44
	1,0	4,20	1,95	0,73	0,31	0,25	46
	1,5	4,30	1,80	0,79	0,30	0,23	53
	2,0	4,40	1,70	1,05	0,24	0,23	75
	2,5	4,50	1,60	1,10	0,18	0,25	69
	Efecto	L**	L**	L**	L**	Ns	L**
	C.V. (%)	3,3	8,6	6,5	10,2	12,6	9,35
0,10-0,20	0	4,01	2,81	0,26	0,12	0,19	11
	0,5	4,21	2,80	0,55	0,21	0,19	24
	1,0	4,21	2,60	0,57	0,22	0,20	28
	1,5	4,30	2,20	0,70	0,25	0,23	28
	2,0	4,35	1,60	1,00	0,27	0,23	46
	2,5	4,40	1,50	1,02	0,28	0,22	50
	Efecto	L**	L**	L**	L**	Ns	L**
	C.V. (%)	4,5	9,6	5,3	8,3	12,3	8,5
0,20-0,40	0	4,10	2,73	0,27	0,12	0,11	7
	0,5	4,10	2,65	0,27	0,13	0,12	7
	1,0	4,10	2,50	0,41	0,17	0,14	8
	1,5	4,20	2,52	0,56	0,20	0,14	8
	2,0	4,20	2,40	0,57	0,21	0,12	9
	2,5	4,30	2,35	0,63	0,22	0,09	8
	Efecto	L**	L**	L**	L**	Ns	ns
	C.V. (%)	3,8	8,6	10,2	11,5	9,3	9,8
0,40-0,60	0	4,00	2,80	0,20	0,12	0,09	4
	0,5	4,10	2,81	0,21	0,12	0,10	5
	1,0	4,20	2,50	0,29	0,11	0,09	5
	1,5	4,20	2,45	0,31	0,13	0,09	5
	2,0	4,20	2,39	0,34	0,13	0,09	5
	2,5	4,30	2,35	0,44	0,14	0,11	5
	Efecto	L**	L**	L**	ns	Ns	ns
	C.V. (%)	4,5	9,8	11,2	11,8	13,2	9,7

L= efecto lineal por regresión polinomial.

* Significativos a P<0,05, ** altamente significativos a P<0,01, y ns no significativo respectivamente

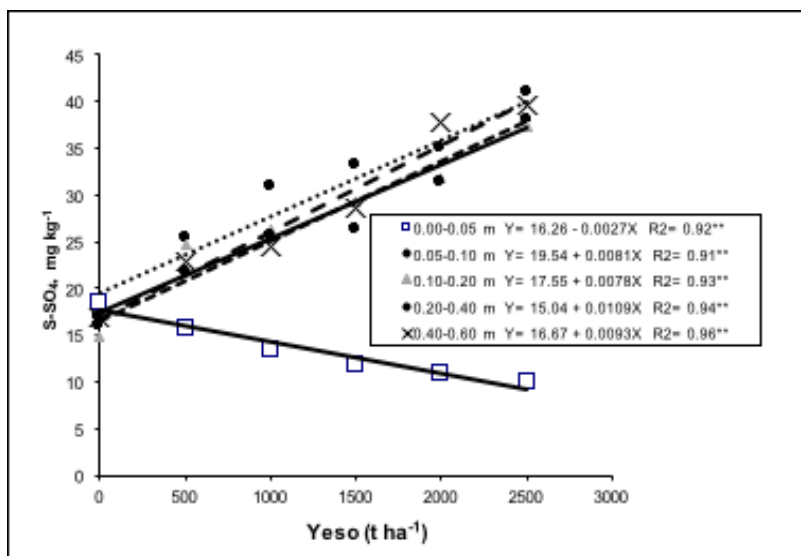


Figura 1. Promedio de niveles de S SO_4^{2-} del suelo en función de los niveles de yeso y profundidad de muestreo cinco años después de aplicarlo en el cultivo de Tahití en un Oxisol de la Orinoquia Colombiana. **: Significativo $P < 0,01$.

La acumulación de S- SO_4^{2-} en las capas de 0,05 a 0,60 m fue mayor, lo que indica que el efecto puede ser aún más importante en las capas más profundas, principalmente en suelos de texturas gruesas donde existe una mayor lixiviación e infiltración de los nutrientes por la poca capacidad de retención, contrario, a lo que ocurre en suelos con altos contenidos de arcilla. Lo anterior ha sido reportado por Raji *et al.* (1998) y Quaggio *et al.* (1993), quien menciona que el movimiento de ion sulfato es más lento en suelos con alto contenido de arcilla porque puede ser retenido en los sitios de intercambio.

Resultados similares fueron obtenidos por Prochnow y Boareto (1995) en limón 'Siciliano'. Por otra parte, a nivel foliar, se presentó un aumento lineal de las concentraciones de Ca y S y disminución lineal en los niveles de N, Mg y Zn en función de las dosis de yeso aplicadas (Tabla 2). No hubo efectos significativos en las concentraciones de P y Mn.

El contenido de nutrientes en el tejido foliar se mantuvo en el rango considerado adecuado para los cítricos (Cohen, 1983), independientemente de los cambios en las dosis de yeso aplicadas. Los niveles foliares

obtenidos de Ca en todas las dosis evaluadas fueron considerados bajos. Lo anterior hace pensar que para una mayor efectividad, es necesario intercalar las aplicaciones del yeso con enmiendas cálcicas menos solubles (CaCO_3), que por su poca movilidad en el suelo contribuye a aumentar las concentraciones de Ca en los primeros 0,20 m, donde predominan las raíces adsorbentes de la lima ácida Tahití.

A su vez se puede utilizar la cal dolomita, que aporta Mg^{2+} , además de Ca^{2+} , al complejo de intercambio. La reducción de la concentración de N foliar con la aplicación de yeso puede haber sido causado por el efecto de dilución de los nutrientes en los tejidos de la planta como fue verificado por Caires *et al.* (2003). Efectos favorables de yeso sobre la absorción de N han sido encontrados en cultivos de soya (Caires *et al.*, 2003) y maíz (Caires *et al.*, 2004).

La menor absorción de K puede estar asociada con un aumento en la absorción del Ca lo que origina competencia catiónica por sitios de absorción en la planta (Garavito, 1979). El aumento en los niveles foliares de Ca y S por la adición de yeso al suelo han sido

reportados por Bernal *et al.* (2002); Caires *et al.* (2003); Caires *et al.* (2004), Bernal *et al.* (2006), lo que indica una correlación positiva entre los niveles de estos nutrientes en el suelo y su concentración en la planta. Lo anterior se puede explicar porque las concentraciones de Ca²⁺ liberado del yeso desplaza al Al³⁺ de los sitios de intercambio, hasta el punto de neutralizar totalmente al aluminio y aumentar la concentración de Ca²⁺ en la solución del suelo, lo que hace que la planta tenga una mayor disponibilidad. Por otra parte las mayores concentraciones de S en las hojas de lima Tahití permite inferir sobre la absorción de nutrientes en el subsuelo donde se encontraban los mayores niveles (Prochnow y Boareto, 1995), evidenciando la importancia de retención de S-SO₄²⁻ por Oxisoles que pueden convertirse en fuentes de este nutriente durante varios años, aspecto importante

en cultivos permanente como los cítricos. El efecto del yeso en la reducción del Mg en las hojas de lima Tahití (Tabla 2) indica que la lixiviación de Mg intercambiable disminuye la absorción de nutrientes por la planta a pesar de que se muestra una pequeña acumulación de este en el subsuelo. Trabajos en varios cultivos confirmaron la baja absorción de este nutriente (Raij *et al.*, 1998; Caires *et al.*, 2003; Caires *et al.*, 2004). Caso similar se presenta con las concentraciones foliares de Zn donde las mayores dosis de yeso disminuyeron su absorción por la planta. Estos datos son importantes para el establecimiento de planes de fertilización en el cultivo de cítricos en presencia de altas dosis de yeso, ya que estas pueden causar una disminución significativa en los niveles de algunos micronutrientes en las capas superficiales del suelo causando a su vez deficiencias en la planta.

Tabla 2. Niveles foliares promedios para algunos macro y micronutrientes, cinco años después de la aplicación de yeso en el cultivo de la lima Tahití.a.

Yeso t ha ⁻¹	N	P	K	Ca	Mg	S	K	Ca
	cmol _c kg ⁻¹					mg kg ⁻¹		
0	2,75	0,28	1,54	1,89	0,48	0,21	30,50	33,00
0,5	2,75	0,28	1,42	2,04	0,45	0,25	28,00	33,00
1,0	2,70	0,27	1,37	2,07	0,41	0,29	25,25	33,75
1,5	2,69	0,26	1,32	2,11	0,40	0,32	23,50	33,00
2,0	2,64	0,25	1,19	2,20	0,38	0,36	20,50	32,75
2,5	2,47	0,25	1,10	2,34	0,37	0,40	20,00	32,25
Efecto	L**	ns	L**	L**	L**	L**	L**	ns
C.V. (%)	2,4	6,6	6,5	7,5	10,2	8,5	5,6	12,6

L= efecto lineal por regresión polinomial.

* Significativos a P<0,05, ** altamente significativos a P<0,01, y ns no significativo respectivamente

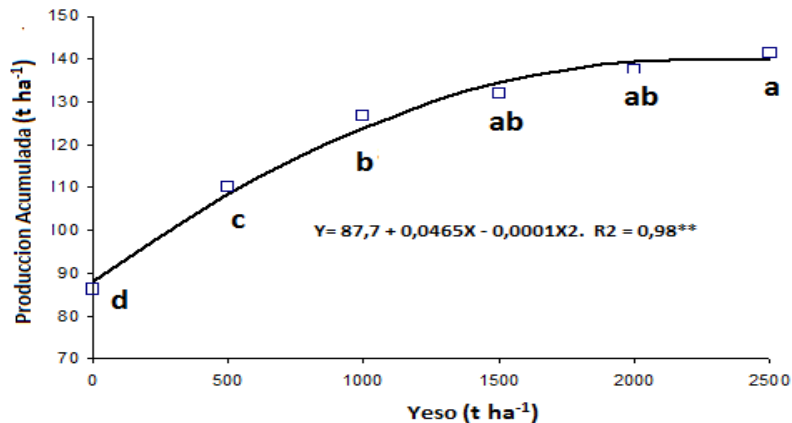
La producción acumula de lima Tahití después de 5 años de aplicación de yeso se ajustó al modelo cuadrático donde los máximos rendimientos medios acumulados se obtuvieron con la aplicación de 2,5 t ha⁻¹ de yeso, este valor presentó diferencias significativas con los rendimientos obtenidos en las dosis de 1,0, 0,5 t ha⁻¹ y el control sin yeso. La producción máxima de 141,41 t ha⁻¹ superó en 14,5; 31,5; y 55,6 t ha⁻¹ los rendimientos obtenidos con las dosis de 1,0, 0,5 t ha⁻¹ y el testigo sin yeso, respectivamente, lo que indica efectos

positivos en la aplicación de yeso sobre la producción de fruta en lima Tahití (Figura 2).

El aumento en la producción de lima Tahití se puede atribuir a la mejora de las condiciones químicas con aumento de los niveles de bases intercambiables, especialmente Ca, los niveles de S-SO₄²⁻, disminución de la acidez (Raij *et al.*, 1998; Mehlich y Tewari, 1974, Zapata, 2004; 2010) que favorece un mejor desarrollo radicular (Malavolta, 1992; Raij, 1992), mejorando la absorción de nutrientes por las raíces de la planta

(Summer *et al.*, 1986; Rivera *et al.*, 2016), como se observa en este trabajo. Reportes similares

sobre su efecto en la producción fueron hechas por Paro (1991), Lima (1995) y Luz (1995).



CONCLUSIONES

La aplicación de yeso al suelo contribuye al crecimiento en profundidad de las raíces y de esta forma, las plantas aprovechan una mayor cantidad de agua y nutrientes del subsuelo, que se reflejan en el aumento de los rendimientos y mejora de la calidad de la fruta. Con las aplicaciones de yeso además de neutralizar parte del aluminio intercambiable se logró incrementar las concentraciones de Ca en el suelo y mejorar la disponibilidad en profundidad de nutrientes como el Mg y P, sin embargo, para una mayor eficiencia y aumento de las concentraciones de Ca a nivel foliar es necesario intercalar las aplicaciones de yeso con enmiendas calcárea de menor movilidad que puedan aportar Ca en los primeros 0,20 m del suelo donde predominan las raíces absorbentes de la lima ácida Tahití. Este mejoramiento en las propiedades químicas, permitirá a las plantas soportar un mayor número de días bajo condiciones de estrés hídrico.

AGRADECIMIENTOS

A los operarios de la Red de Frutales del C.I. La Libertad: Capitolino Cipriam, Alfredo Pardo; y al asistente de investigación Heberth Augusto

Velasquez R. A los directivos y personal de la administración del Centro de Investigación La Libertad de Corpoica en Villavicencio.

REFERENCIAS

- Bernal, J., Almansa, E., Navas, G. y Arguello, J. 2002.** Interacción de dos fuentes de calcio y aluminio en un Oxisol de los Llanos. En: XI Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Memorias. Cali, Colombia. p. 85-88.
- Bernal, J., Almansa, E., Arguello, J. y Baquero J. 2006.** Yeso agrícola su beneficio en los suelos de los Llanos Orientales. Plegable divulgativo N° 49. Publicación Corpoica
- Boaretto A., Muraoka T. y Rêgo I. 1996.** Calagem e gessagem em citricultura. En: IV Seminário Internacional de Citrus. Memorias. Bebedouro. Campinas, SP: Fundação Cargil. p.115-130,
- Caires E., Blum J., Barth G., Garbuió F. y Kusman T. 2003.** Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. Rev. Bras. Ciênc. Solo, 27 (2): 275-286.

- Caires E., Kusman M., Barth G., Garbuio F., y Padilha J. 2004.** Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 28:125-136.
- Carrizo, M., Pilatti, M., Alesso, C. e Imhoff, S. 2011.** Atributos químicos de suelos argiudoles cultivados y no cultivados del departamento Las Colonias (Santa Fe). *Ciencia del Suelo* 29: 173-179.
- Cohen A. 1983.** Fertilización de los cítricos. Berna Suiza, Institute Internacional de la Potasa. 48 p. (Boletín IIP N° 4).
- Cristancho, J., Hanafi, M., Syed, R. y Rafii, M. 2010.** Variations in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) progeny response to high aluminum concentrations in solution culture. *Plant Biology*, 13(2): 33-42.
- Cruzate, G. y Casas, R. 2012.** Extracción y balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina. *Informaciones Agronómicas*. 6: 7-14.
- ENA-DANE. 2016.** Encuesta Nacional Agropecuaria. ENA-DANE, Colombia.
- Estrada E. 2001.** Disponibilidad de calcio, magnesio y azufre, su análisis en suelos y plantas. En: Los elementos secundarios (Ca, Mg, S) y el silicio en la agricultura. Bogotá. p 85-104.
- Gambaudo, S., Zampar, A., Tomatis, L. y Quaino, O. 2001.** Respuesta de la alfalfa a la aplicación de dos enmiendas calcáreas. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. 12:4-6.
- Garavito, F. 1979.** Propiedades químicas de los suelos. 2.ed. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá. 321p.
- Garrison, S. 2008.** The chemistry of soils. Second Edition. OXFORD. University Press. ISBN 978-0-19-531369-7
- ICA. Instituto Colombiano Agropecuario. 1993.** Manual de Análisis de Suelos, Plantas y Aguaspariariego. Bogotá, Colombia. 236p.
- IGAC. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2000.** Estudio general de suelos de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento del Meta. Subdirección de Agrología. Bogotá. 538 p.
- Lima S. 1995.** Efeitos do calcário e gesso no solo e na produtividade da laranjeira Hamlin (*Citrus sinnensis* L. Osbeck) sobre limoeiro cravo (*Citrus limonia* L. Osbeck). Tese (Doutorado em Agronomia). Curso de Pós-graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" Universidade de São Paulo. 137 p.
- Luz P. 1995.** Efeitos de modos de aplicação e incorporação de calcário e gesso em pomares de citros. Tese (Doutorado em Agronomia). Curso de Pós-graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" Universidade de São Paulo. 159 p.
- Malavolta E y Violante N. 1989.** Nutrição mineral, calagem, gessagem e adubação dos citros. Piracicaba: POTAFOS. 154p.
- Malavolta, E. 1992.** O gesso agrícola no ambiente e na nutrição da planta – perguntas e respostas. En memorias: 2 Seminario Sobre o Uso do Gesso na Agricultura. Uberaba, IBRAFÓS. p. 41-66.
- Mehlich A y Tewari G. 1974.** The roles of gypsum (calcium-sulfate) En: Agriculture. United State Gypsum Company, Chicago, USA. 168 p.
- Mejía L. 1996.** Génesis y características de los Oxisoles y suelos óxicos de los Llanos Orientales de Colombia y su relación con la fertilidad. *Suelos Ecuatoriales* 26(1):7-34.
- Ordúz-Rodríguez, J. y Baquero J. 2003.** Aspectos básicos para el cultivo de los cítricos en el Piedemonte Llanero. *Revista Achagua*, 7:7-20.
- Paro M. 1991.** Efeitos da aplicação de calcário calcinado dolomítico, gesso e mistura calcario / gesso na cultura do citros em produção. Trabalho final do Curso (Trabalho de Graduação). Faculdade de Agronomia Universidade de São Paulo. 64 p.
- Prochnow L. y Boaretto A. 1995.** Profundidade de Amostragem do solo para avaliação do enxofre disponível em pomar de limão siciliano (*Citrus Limon* Burm.). *Piracicaba, Scientia Agrícola* 52: 101-106,

- Quaggio J., Raij B., Gallo P. y Mascaranhas A. 1993.** Respostas da soja á aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil de solo. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 28(3): 375-383.
- Raij B. y Peech M. 1972.** Electrochemical properties of some Oxisols and Alfisols of the tropics. *Soil Sci Soc Am Proc*, 36(4): 587-593.
- Raij B. 1992.** Reações de gesso em solos ácidos. En: 2 Seminario Sobre o uso do Gesso na Agricultura. Memórias. Uberaba: Ibrafòs, p.105-120.
- Raij B., Mascarenhas H., Pereira J., Igue T y Sordi G. 1994.** Efeito de calcário e de gesso para soja cultivada em Latossolo Roxo ácido saturado com sulfato. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 18: 305-312.
- Raij B., Lani P., Quaggio J. y Pettinelli Jr A. 1998.** Gesso na produção de cultivares de milho com tolerância diferencial a alumínio em três níveis de calagem. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 22: 101-108.
- Rivera, Y., Moreno, L., Herrera, M. y Romero, H. 2016.** La toxicidad por aluminio (Al^{3+}) como limitante del crecimiento y la productividad agrícola: el caso de la palma de aceite. *Palmas*, 37(1), 11-23
- Reeve N. y Sumner M. 1972.** Amelioration of subsoil acidity in Natal Oxisols by leaching of surface applied amendments. *Agrochimica*, 4: 1-6
- Rout, G., Samantara, S. y Das, P. 2001.** Aluminum toxicity in plants: A review. *Agronomie*, 21(1), 3-21.
- Souza D., Miranda L., De Lobato E. y Soares W. 2001.** Uso de gesso calcário e adubos para pastagens no cerrado. Planaltina: Embrapa Cerrados. 22 p. (Circular técnica /Embrapa Cerrados).
- Sainz Rozas, H.; Echeverría, H.; y Angelini, H. 2011.** Niveles de carbono orgánico y pH en suelos agrícolas de las regiones pampeana y extrapampeana argentina. *Ciencia del Suelo*. 29: 29-37.
- Sumner, M., Shahandeh, H., Bouton, J. y Hammel, J. 1986.** Amelioration of an acid soil profile through deep liming and surface application of gypsum. *Soil Science Society of America Journal* 50: 1254-1258.
- Toma M., Sumner ME, Weeks G y Saigusa M. 1999.** Long-term effects of gypsum on crop yield and subsoil chemical properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 63(4): 891-895.
- Vitti G. y Susuky J. 1978.** A determinação do enxofre – sulfato- pelo método turbidimétrico. Jaboticabal, Universidade Estadual de São Paulo, 13p.
- Vázquez, M.; Terminiello, A.; Casciani, A.; Millán, G.; Cánova, D., Gelati, P.; Guilino, F.; Dorronzoro, A.; Nicora, Z.; Lamarche, L.; García, M. 2012.** Respuesta de la soja (*Glycine max* L. Merr) a enmiendas básicas en suelos de las provincias de Buenos Aires y Santa Fe. *Ciencia del Suelo*. 30: 43-55.
- Zapata, R. 2004.** La química de la acidez del suelo. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín-Colombia.
- Zapata, R. 2010.** Los procesos químicos del suelo. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín-Colombia.